

GLÍCIA RAFAELA FREITAS DA FONSÊCA

**COMPONENTES NUTRICIONAIS E ESTRUTURAIS DO SORGO FORRAGEIRO
SUBMETIDO A ADUBAÇÃO NITROGENADA COM MOLIBDÊNIO**

Orientador: Prof. Dr. Evaristo Jorge
Oliveira de Souza.

Co-orientdor: Prof. Dr. Alexandre
Campelo de Oliveira.

Serra Talhada – PE
2024

**F
O
N
S
E
C
A**

**G
R
F**

**C
O
M
P
O
N
E
N
T
E
S**

**N
U
T
R
I
C
I
O
N
A
I
S**

**·
·
2
0
2
4**

GLÍCIA RAFAELA FREITAS DA FONSÊCA

**COMPONENTES NUTRICIONAIS E ESTRUTURAIS E DO SORGO FORRAGEIRO
SUBMETIDO A ADUBAÇÃO NITROGENADA COM MOLIBDÊNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Evaristo Jorge Oliveira de Souza.

Co-orientdor: Prof. Dr. Alexandre Campelo de Oliveira.

Serra Talhada-PE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Israel Lacerda do Nascimento – CRB-4 2317

F676c Fonséca, Glícia Rafaela Freitas da.
Componentes nutricionais e estruturais do sorgo
forrageiro submetido a adubação nitrogenada com
molibdênio / Glícia Rafaela Freitas da Fonséca. –
Serra Talhada, 2024.
58 f.; il.

Orientador(a): Evaristo Jorge Oliveira de Souza.
Co-orientador(a): Alexandre Campelo de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal
Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica Serra
Talhada - UAST, Programa de Pós-Graduação em
Produção Vegetal , Serra Talhada, BR-PE, 2024.

Inclui referências.

1. Alimentos - Qualidade. 2. Nutrição. 3.
Semiárido. 4. Sorgo I. Souza, Evaristo Jorge Oliveira
de, orient. II. Oliveira, Alexandre Campelo de,
coorient. III. Título

CDD 581.15

GLÍCIA RAFAELA FREITAS DA FONSÊCA

**COMPONENTES NUTRICIONAIS E ESTRUTURAIS DO SORGO FORRAGEIRO
SUBMETIDO A ADUBAÇÃO NITROGENADA COM MOLIBDÊNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADO em 30 / 07 / 2024 .

Banca Examinadora

Prof. Dr. Evaristo Jorge Oliveira de Souza – UAST/UFRPE
Orientador

Prof. Dr. Luiz Guilherme Medeiros Pessoa – UAST/UFRPE
Examinador Interno

Dr. José Raliuson Inácio Silva – UAST/UFRPE
Examinador Externo

À minha primogênita, Maria Flor!

- Sempre foi por você.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao meu amado e glorioso Deus, por saber que ele gosta especialmente de mim, por sempre está ao meu lado, me guiando, protegendo e me sustentando.

Agradeço à minha amada mãe Elisete, meu eterno e amado pai Miguel (*in memoriam*), e ao meu amado pai biológico Floriano, por todo carinho e amor incondicional. Vocês sempre estiveram comigo, me incentivando, apoiando, dando força e coragem para continuar nessa caminhada longa e árdua.

À minha primogênita, Maria Flor. Ainda tão pequena, mas me fez sentir o amor na sua forma mais genuína. E se cheguei até aqui, significa que deu certo, sempre foi sobre você, por você, e para você.

Aos meus irmãos, Gleison, Tainara, Gabriel e em especial minha sobrinha Lais.

Ao meu companheiro de vida, João Ítalo. Chegou já no finalzinho dessa jornada, mas foi meu suporte para conseguir de fato concluir essa jornada.

Minha inspiração diária são vocês, e sem dúvidas, minha melhor parte – Família, eu amo vocês.

As minhas amigas Gabby Souza, Agnes Fonsêca, Andresa Correia, Maria Cláudia e Thayna Sousa por todo incentivo, e mesmo longe, sempre se fazem presente de alguma forma.

Aos meus amigos de mestrado Jamiles Carvalho, Marcos, Wilma e Iara, por todo momento que compartilhamos juntos.

Ao meu orientador Evaristo Jorge, por todo ensinamento concedido durante essa jornada.

Aos integrantes do grupo Nutriplant e Rumiagro que se disponibilizaram e ajudaram durante essa jornada.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/ UAST) e ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal (PGPV) pela oportunidade e por fazer parte de mais uma etapa importante da minha vida profissional.

A CAPES pela concessão da bolsa e recursos para que essa pesquisa fosse realizada.

A todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indiretamente com minha pesquisa e minha carreira científica, meu muito OBRIGADA.

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime,
pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”.

JOSUÉ 1:9

RESUMO

As regiões semiáridas apresentam características edafoclimáticas limitantes à produção de forragem, por afetarem principalmente o crescimento e desenvolvimento das plantas. Entretanto, culturas adaptadas a essas condições como o sorgo forrageiro e a suplementação nutricional com nitrogênio e molibdênio, pode promover incrementos na produção de forragem. Desse modo, objetivou-se avaliar a interação entre o Nitrogênio e o Molibdênio nos componentes produtivos, bromatológicos e estruturais do sorgo forrageiro SF-15, cultivado em ambiente semiárido, com a hipótese de que a adubação nitrogenada associado ao molibdênio, aumentaria a utilização do nitrogênio pelo sorgo. A metodologia envolveu um experimento fatorial 5X2 em delineamento com blocos casualizados (DBC), com doses crescentes de nitrogênio (ureia) (0, 50, 100, 150, 300 kg ha⁻¹) e duas doses de molibdênio (molibdato de sódio): 0 e 160 g ha⁻¹, conduzido por três ciclos de cultivo. O ciclo um, dois e três, tiveram duração de 108, 90 e 99 dias, respectivamente. Foram avaliadas ao final de cada ciclo as variáveis morfológicas: altura de planta (AP), largura média da planta (LMP), espessura do colmo (EC), número de folhas vivas e mortas (NFV, NFM) comprimento da folha mais desenvolvida (CF), largura da folha mais desenvolvida (LF), área foliar (AF). Foi determinada a produção de matéria natural (MN) produção de matéria seca (PMS), produção de proteína bruta (PPB), e os componentes bromatológicos: matéria seca (MS), matéria seca definitiva (MSD), matéria orgânica (MO), material mineral (MM), proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN). As características morfométricas foram influenciadas pela interação entre ciclo x doses de nitrogênio (N) e doses de molibdênio (Mo). As maiores médias foram obtidas nos ciclos (rebrotas 1 e 2) com as doses crescentes de N associada ao Mo. Para as características produtivas houve interação entre ciclo e doses de N, sendo o ciclo rebrota 1, junto a dosagem de 100 kg ha⁻¹ N a interação com maior média, tendo uma produtividade de 31,87 t ha⁻¹ de matéria natural (PMN), seguida de 10,27 t ha⁻¹ de matéria seca (PMS) e 0,59 t ha⁻¹ de proteína bruta (PPB). Os componentes bromatológicos foram influenciados pela interação N e Mo. O estudo comprovou que há ação sinérgica entre o nitrogênio e o molibdênio. Recomenda-se o uso da adubação nitrogenada de 100 kg ha⁻¹ de N para produção média de 10 t ha⁻¹ para o sorgo SF-15.

Palavras-chave: Bromatologia, nutrição, semiárido, *Sorghum bicolor*.

ABSTRACT

Semi-arid regions have edaphoclimatic characteristics that limit forage production, as they mainly affect plant growth and development. However, crops adapted to these conditions, such as forage sorghum and nutritional supplementation with nitrogen and molybdenum, can promote increases in forage production. Thus, the objective was to evaluate the interaction between Nitrogen and Molybdenum in the productive, bromatological and structural components of forage sorghum SF-15, cultivated in a semi-arid environment, with the hypothesis that nitrogen fertilization associated with molybdenum would increase the use of nitrogen by sorghum. The methodology involved a 5X2 factorial experiment in a randomized block design (DBC), with increasing doses of nitrogen (urea) (0, 50, 100, 150, 300 kg ha⁻¹) and two doses of molybdenum (sodium molybdate): 0 and 160 g ha⁻¹, conducted through three cultivation cycles. Cycles one, two and three lasted 108, 90 and 99 days, respectively. The morphological variables were evaluated at the end of each cycle: plant height (AP), average plant width (LMP), stem thickness (EC), number of living and dead leaves (NFV, NFM) length of the most developed leaf (CF), width of the most developed leaf (LF), leaf area (AF). The production of natural matter (MN), dry matter production (PMS), crude protein production (PPB), and bromatological components were determined: dry matter (DM), definitive dry matter (MSD), organic matter (OM), mineral material (MM), crude protein (CP) and neutral detergent fiber (NDF). The morphometric characteristics were influenced by the interaction between cycle x doses of nitrogen (N) and doses of molybdenum (Mo). The highest averages were obtained in cycles (regrowths 1 and 2) with increasing doses of N associated with Mo. For the productive characteristics there was an interaction between cycle and N doses, with the regrowth cycle 1, together with a dosage of 100 kg ha⁻¹ N being the interaction with the highest average, having a productivity of 31.87 t ha⁻¹ of natural matter (PMN), followed by 10.27 t ha⁻¹ of dry matter (DMP) and 0.59 t ha⁻¹ of crude protein (PPB). The bromatological components were influenced by the N and Mo interaction. The study proved that there is a synergistic action between nitrogen and molybdenum. It is recommended to use nitrogen fertilizer of 100 kg ha⁻¹ of N for an average production of 10 t ha⁻¹ for SF-15 sorghum.

Keywords: Bromatology, nutrition, semiarid, *Sorghum bicolor*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática da rota de assimilação do nitrogênio nas raízes e folhas de plantas. (NO ₃ ⁻ : nitrato; NO ₂ ⁻ : nitrito; NH ₄ ⁺ : amônio; GLN: glutami-na; GLU: glutamato; RN: redutase do nitrato; RNi: redutase do nitrito; GS: sintetase da glutamina; GOGAT: sintetase do glutamato; T:mtransportador). Adaptado de Bredemeier; Mundstock (2000).	18
Figura 2. Localização da área experimental: Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada-PE, Brasil. Fonte: Adaptado de Henrique et al., 2024.	22
Figura 3. Precipitação pluviométrica (mm) acumulada e temperatura média do ar (°C) durante o período experimental.....	23
Figura 4. Ilustração da área experimental e distribuição dos tratamentos no cultivo do sorgo Forrageiro na cidade de Serra Talhada – PE, Brasil. Fonte: elaborada pela autora.	24
Figura 5. Altura da Planta (AP), Espessura do Colmo (EC), Comprimento da Folha mais desenvolvida (CF), Largura da Folha mais desenvolvida (LF), Área Foliar (AF) e Número de Folhas Vivas (NF) do sorgo SF-15 adubado com doses crescentes de N associado ou não ao Mo, cultivado em condições de déficit hídrico no semiárido de PE.	35
Figura 6. Produção de matéria natural (PMN), produção de matéria seca (PMS) e produção de proteína bruta (PPB). do sorgo SF-15 adubado com doses crescentes de N associado ou não ao Mo, cultivado em condições de déficit hídrico no semiárido de PE.	38
Figura 7. Material mineral (MM), Matéria orgânica (MO), Proteína Bruta (PB) e matéria seca (MS) do sorgo SF-15 adubado com doses crescentes de N associado ou não ao Mo, cultivado em condições de déficit hídrico no semiárido de PE.	43
Figura 8. Representação gráfica da relação entre as variáveis biométricas (AP, LMP, EC, NFV, NFM, CF, LF, AF), Bromatologia (PB, FDN, MS, MM, MO) e produtividade (PMN, PMS, PPB) do sorgo SF-15 adubado com doses crescentes de N associado ou não ao Mo, cultivado em três ciclos consecutivos em condições de déficit hídrico no semiárido de PE	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos e físicos de solo Cambissolo Háplico Típico da área experimental, em Serra Talhada, PE, Brasil.	24
Tabela 2. Características morfométricas do sorgo SF-15 adubado com doses crescentes de N associado ou não ao Mo, cultivado em condições de déficit hídrico no semiárido de PE.....	31
Tabela 3. Produtividade do sorgo SF-15 adubado com doses crescentes de N associado ou não ao Mo, cultivado em condições de déficit hídrico no semiárido de PE.....	36
Tabela 4. Componentes bromatológicos do sorgo SF-15 adubado com doses crescentes de N associado ou não ao Mo, cultivado em condições de déficit hídrico no semiárido de PE.....	39

SUMÁRIO

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Produção de forragem	16
2.2 Nitrogênio e molibdênio	17
2.3 Sorgo forrageiro como alternativa para alimentação animal	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Descrição da área experimental	22
3.2 Condução experimental.....	24
3.2.1 Irrigação	25
3.3 Análises biométricas	26
3.4 Produtividade	26
3.5 Análises bromatológica.....	27
3.6 Delineamento e análise estatística.....	27
4. RESULTADOS.....	28
4.1 Características morfométricas	28
4.2 Características produtivas	36
4.3 Componentes bromatológicos.....	38
5. DISCUSSÃO	45
5.1 As características morfométricas do sorgo são influenciadas por ciclos consecutivos, doses de nitrogênio, e molibdênio	45
5.2 As características produtivas do sorgo SF-15 são influenciadas pelo ciclo produtivo e pelo nitrogênio	45
5.3 Os componentes bromatológicos são influenciados positivamente pelo ciclo, nitrogênio e pelo molibdênio	46
6. CONCLUSÃO	47

1. INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas apresentam características edafoclimáticas que limitam a produção pecuária devido às elevadas temperaturas e alta variabilidade do regime hídrico. Essas condições afetam principalmente o crescimento e desenvolvimento das plantas (ALVES et al., 2022; OLIVEIRA; MACÊDO; SANTOS, 2019). Quando cultivada em ambientes com condições desfavoráveis, as plantas podem apresentar uma alta relação dos componentes estruturais colmo/folha, característica não desejável na produção animal (UZCÁTEGUI-VARELA et al., 2021).

A alta relação colmo/folha, condiciona a digestibilidade e o consumo da forragem devido a quantidade de tecido fibroso presente no colmo, e a redução dos teores de proteína nas folhas, afetando negativamente a qualidade da forragem consumida e o rendimento no ganho de peso por animal, consequentemente a produção animal (AKIN, 1989; SILVA et al., 2022). Portanto, o incremento de plantas forrageiras adaptadas às condições edafoclimáticas dessa região, juntamente com práticas adequadas de manejos (e. g., irrigação, adubação foliar, densidade de plantio, e outros) impulsionam e promovem a produção de forragem com maior qualidade, e eficiência no uso dos recursos naturais, cooperando para mitigar a escassez alimentar animal, aumentando o suporte forrageiro (ALVES et al., 2022; NUNES et al., 2020).

Dentre as opções de plantas forrageiras comumente utilizadas, destaca-se o sorgo forrageiro. Essa cultura apresenta tolerância às altas temperaturas do ar, capacidade de rebrota, baixa demanda hídrica e tolerância à água salina, baixa exigência quanto a fertilidade do solo, conseguindo manter a produção de grãos e matéria seca em cenário adverso (PERAZZO et al., 2013; SILVA et al., 2020).

Em termos de componentes nutricionais, o sorgo desempenha papel importante na alimentação de ruminantes, sendo considerado uma excelente fonte de fibra, dispõe em média 7,1% de proteína bruta, e apresenta alto teor de carboidratos solúveis (JARDIM et al., 2021; MOURA et al., 2016; PINO; HEINRICHS, 2017).

Mesmo o sorgo apresentando tais características adaptativas às condições adversas, é evidenciado na literatura respostas positivas referente a utilização de adubos nitrogenados e o uso de irrigação com água salina (Oresca et al., 2021).

Dada a importância da adubação com nitrogênio, nutriente fundamental para as plantas, por fazer parte da composição de biomoléculas de grande importância (i. e., NADH, clorofilas, ácido nucléicos, aminoácidos e outras) (TAIZ et al., 2017). Quando o nitrogênio está disponível na solução do solo, vai ser absorvido pela raiz, passando pelas células epidérmicas e do córtex da raiz, as quais permeiam a passagem de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) para dentro da membrana plasmática e no

citosol. Dentro do citosol ocorre a redução dos nitratos a nitrito por ação da enzima redutase de nitrato, ao ser reduzido a nitrito, a enzima redutase de nitrito, converte o nitrito em amônio (NH_4^+). Com isso, o amônio é incorporado em aminoácido, formando glutamato e glutamina, sendo esses importantes na síntese de clorofila resultando em reservas de carboidratos que contribuem para a qualidade da forragem (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000).

A qualidade de forragem é uma característica de grande relevância na alimentação dos animais, pois alimento com maior qualidade, atende as exigências nutricionais requeridas pelos animais (AHMED et al., 2014). Deste modo, é visto na literatura consultada que a adubação com N enriquecida com micronutrientes como o molibdênio, zinco, manganês, boro, ferro e cobre, melhora a qualidade nutricional do alimento devido ao aumento da quantidade de proteína nos grãos e, pode diminuir os fatores antinutricionais, devido à ação das enzimas hidrolíticas que quebram e solubilizam os taninos (AHMED et al., 2014).

O Molibdênio (Mo), desempenha funções de grande importância no metabolismo vegetal, atuando diretamente na fixação biológica de nitrogênio e no maior aproveitamento dos nitratos, pois faz parte do complexo enzimático denominado nitrogenase. A nitrogenase desintegra a ligação tripla dos átomos de N, e ao final do processo vai converter os nitritos em amônio, que posteriormente será disponibilizado à planta para sintetizar os compostos nitrogenados, sendo este o passo inicial para integrar N a proteína (ALBINO; CAMPO, 2001; OLIVEIRA et al., 2022). Além disso, é observado que a utilização de Mo pode incrementar nos teores de proteína dos grãos de milho, como relatado por Ferreira et al., (2001), obtendo um incremento de 3% nos teores de proteína bruto nos grãos de milho. Contudo, é necessário a investigação da interação do N associado ao Mo, principalmente na cultura do sorgo em condições de clima semiáridos, visto que na literatura existente, os estudos ainda são limitados e as informações são escassas.

Objetivou-se avaliar a interação entre o Nitrogênio e o Molibdênio nos componentes estruturais, produtivos e bromatológicos do sorgo forrageiro SF-15, cultivado em ambiente semiárido, com a hipótese de que a adubação nitrogenada associado ao molibdênio, aumentaria a utilização do nitrogênio pela planta. Os objetivos específicos foram a avaliação dos componentes estruturais como altura de planta, largura média da planta, espessura do colmo, número de folhas vivas e mortas, comprimento da folha mais desenvolvida, largura da folha mais desenvolvida, e área foliar. Estimar a produção de material natural, produção de matéria seca e produção de proteína bruta. Determinar os teores de matéria seca, teor de matéria orgânica, material mineral, proteína bruta e fibra em detergente neutro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção de forragem

A produção de forragem no semiárido brasileiro é um tema de grande importância para a pecuária na região, que enfrenta desafios relacionados às condições climáticas adversas e à escassez hídrica. No Nordeste brasileiro, região que predomina o clima semiárido (MARENGO et al., 2015), caracteriza-se por um baixo volume de escoamento fluvial, fato que se deve, principalmente, à elevada variabilidade temporal das precipitações e às características geológicas predominantes na região (LEDRU et al., 2020). Além disso, na região predominam solos rasos assentados sobre rochas cristalinas, o que resulta em baixas interações entre o rio e o solo adjacente, limitando a troca de água entre esses ambientes (CORRÊA et al., 2019).

A Caatinga é um bioma complexo e rico em diversidade vegetal que predomina em regiões semiáridas, o mesmo possui uma notável presença de espécies lenhosas e herbáceas (SCHULZ et al., 2019). As espécies lenhosas são, em sua maioria, caducifólias, enquanto as herbáceas apresentam predominantemente um ciclo de vida anual (BOUIMETARHAN et al., 2018; FERNANDES et al., 2020). Em áreas de pastagens cultivadas, destacam-se gramíneas exóticas originárias da África, como o gramão, a *Urochloa* spp., o capim-buffel e, com menor adaptabilidade à semiaridez, o capim-andropógon (FRAGOSO et al., 2020; MGANGA et al., 2021). No semiárido, a produção de forragem é fundamental para a alimentação animal, especialmente durante os períodos de seca, quando a oferta de pastagens naturais é reduzida, nesse contexto, algumas das principais plantas utilizadas para a produção de forragem incluem a palma forrageira (*Opuntia* spp.), o capim buffel (*Cenchrus ciliaris*), o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*), e o milheto (*Pennisetum glaucum*) (JARDIN et al., 2021; SILVA et al., 2022).

O sorgo e o milheto são duas opções importantes, especialmente por serem culturas de ciclo curto, que permitem colheitas em períodos relativamente curtos, maximizando a produção de forragem em anos de boas chuvas (RUIZ-GIRALT et al., 2023), além disso o sorgo particularmente possui tolerância a salinidade e ao déficit hídrico, colocando-o em posição de destaque para regiões com clima semiárido (HENRIQUE et al., 2024). No entanto, a produção de forragem no semiárido enfrenta diversos desafios, a irregularidade das chuvas e as altas temperaturas são os principais fatores limitantes, que podem comprometer a produção e a qualidade da forragem. Por mais que durante o período chuvoso, a oferta de forragem é abundante, a capacidade de suporte das pastagens permanece limitada (FENETAHUM et al., 2020), e no período seco, é comum a prática de translocar os animais para áreas mais adequadas ou suplementá-los com concentrados, restos de culturas, ramas e cactáceas nativas, contudo, mesmo com essas práticas, os índices zootécnicos dos rebanhos mantêm-se em níveis baixos (SAMPAIO et al., 2017).

As chances de sucesso na criação de rebanhos em regiões semiáridas aumentam consideravelmente quando se opta pelo uso de forrageiras com alto potencial de produção e que sejam bem adaptadas às condições edafoclimáticas, especialmente no que tange aos estresses característicos dessa região (TULU et al., 2023). Além disso, essas forrageiras devem apresentar elevados valores nutritivos, atendendo a três aspectos cruciais: alta digestibilidade, boa palatabilidade (aceitabilidade) e eficiência na conversão energética (REN et al., 2016; BOBOKULOV et al., 2021), porém, as pastagens nativas muitas vezes não conseguem suprir adequadamente a demanda alimentar dos rebanhos, seja devido à irregularidade na oferta ou à qualidade nutricional insuficiente (UDDIN & KEBREAB, 2020), torna-se necessário buscar alternativas.

Para mitigar esses desafios, é essencial adotar estratégias que envolvam o uso de espécies forrageiras adaptadas às condições do semiárido, associadas a técnicas de manejo que promovam a conservação do solo e da água. A produção de forragem no semiárido brasileiro exige uma abordagem integrada que considere tanto a escolha das espécies forrageiras quanto o manejo sustentável dos recursos naturais disponíveis. Apesar dos desafios, o desenvolvimento de tecnologias e práticas adaptadas às condições da região tem potencial para melhorar a produtividade e a sustentabilidade da produção de forragem, contribuindo para a segurança alimentar e econômica das comunidades que dependem da pecuária.

2.2 Nitrogênio e molibdênio

O nitrogênio é considerado um dos macronutrientes mais utilizados na fertilização, por participar diretamente do metabolismo das plantas e ser constituinte de biomoléculas de grande importância (i. e., clorofila, ácido nucléicos, ATP, NADH, aminoácidos e proteínas) (SOUZA et al., 2017; TAIZ et al., 2017). É absorvido em grandes quantidades, melhorando o crescimento e promovendo um rápido desenvolvimento das plantas, além de melhorar a qualidade e o teor de proteína nas folhas (BARBERO et al., 2010).

O nitrogênio existe na atmosfera na forma inorgânica, gerados pela queima de combustíveis fósseis e fertilizantes, ou na forma orgânicas gerado a partir de compostos orgânicos, bactérias, aminoácido biogênicos e outros, possuindo uma forma complexa, difícil de se compreender. De modo geral, são encontrados nas formas reduzidas (NO_2 e NH_3), que podem ser oxidados, formando o ácido nítrico (HNO_3) solúveis em água e posteriormente reduzido a NH_4^+ , voltando para atmosfera por meio da deposição úmida ou seca (TRIPATHEE et al., 2021).

O uso equilibrado do nitrogênio no solo é de grande importância na administração geral de nutrientes nas plantas, visto que o uso excessivo pode causar acidificação do solo e contaminação dos corpos d'água, devido sua alta mobilidade, decorrente da alta susceptibilidade a lixiviação

(SHAMME; RAGHAVIAH; HAMZA, 2016). Esse nutriente é quase sempre limitante, e interfere no desenvolvimento dos vegetais, com isso vem se buscando maneiras de diminuir suas perdas no solo e melhorar a eficiência no uso. Para tanto, é necessário uma melhor metabolização e absorção pelas plantas, visto apenas cerca de 50% é utilizado por elas, e as perdas transitórias causam prejuízos aos produtores e danos irreversíveis ao meio ambiente em decorrência das altas quantidades utilizadas (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000; SHAMME; RAGHAVIAH; HAMZA, 2016).

A absorção e assimilação do N nas raízes e nas folhas é ilustrado didaticamente por Bredemeier e Mundstock (2000) (Figura 1). Onde os transportadores específicos de nitrogênio, por meio de células epidérmicas e do córtex da raiz, permeiam a passagem de nitrato NO_3^- e amônio NH_4^+ para dentro da membrana plasmática e no citosol, a enzima nitrato redutase, reduz o nitrato (NO_3^-) a nitrito (NO_2^-) e, em seguida é convertido a amônio (NH_4^+) dentro do plastídio pela enzima nitrito redutase. Com isso, o amônio é incorporado em aminoácido, formando glutamato e glutamina resultando em reservas de carboidratos que contribuem para a qualidade da forragem. Uma alternativa para o NO_3^- e NH_4^+ é serem transportados por carregadores específicos através do tonoplasto e armazenados no vacúolo. Esses podem sofrer redução no citosol da mesma célula ou serem translocados inalterados para a parte aérea da planta, onde passam pelo mesmo processo ou ficam armazenados no vacúolo para serem utilizados posteriormente.

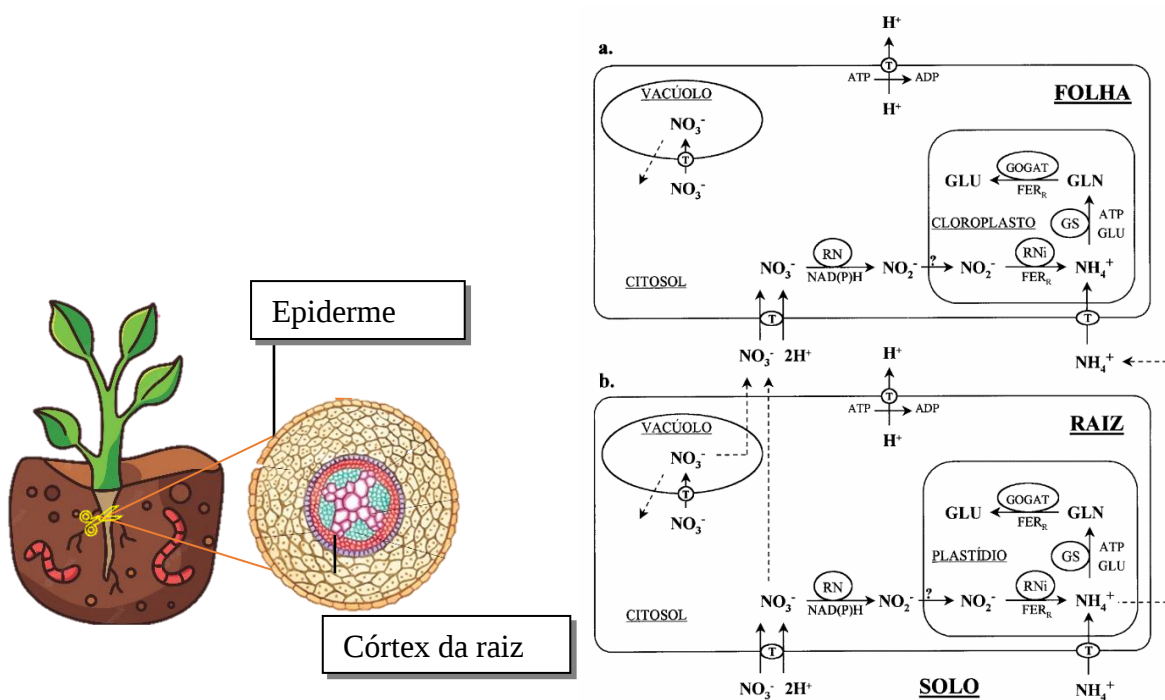


Figura 1. Representação esquemática da rota de assimilação do nitrogênio nas raízes e folhas de plantas. (NO_3^- : nitrato; NO_2^- : nitrito; NH_4^+ : amônio; GLN: glutamina; GLU: glutamato; RN: redutase do nitrato; RNI: redutase do nitrito; GS: sintetase da glutamina; GOGAT: sintetase do glutamato; T: transportador). Adaptado de Bredemeier; Mundstock (2000).

Em pesquisas realizadas por Kaplan et al. (2019) e Lacerda et al. (2019), constatam que a utilização do nitrogênio pela planta, além de contribuir para com o crescimento vegetativo, altura de planta e número de folhas, aumenta os teores de aminoácidos e proteínas. Desta forma, verifica-se a grande influência da adubação nitrogenada para a produção de vegetais, voltadas para alimentação animal.

O molibdênio é um microelemento necessário para o crescimento e desenvolvimento da maioria dos organismos biológicos, incluindo as plantas (ALAM et al., 2015). É comumente encontrado nos solos agrícolas na forma biologicamente inativa, integrando um complexo orgânico que atua como cofator para diversas enzimas e, desempenha papel fundamental no metabolismo do nitrogênio e síntese de proteínas nas plantas (KAISER et al., 2005). Desse modo, o metabolismo do N na planta está intimamente ligado às concentrações de Mo no solo.

Durante os processos bioquímicos, as principais enzimas encontradas nas plantas envolvidas com o molibdênio é a xantina desidrogenase (envolvida no catabolismo das purinas), aldeído oxidase (catalisa a oxidação final na biossíntese de fitohormônios de ácido idolacético e ácido abscísico), sulfito oxidase (catalisa a formação dos sulfetos), e duas merecem destaque por serem essenciais quando se trata do metabolismo do nitrogênio (ALAM et al., 2015; KAISER et al., 2005), são elas: nitrogenase e nitrato redutase, responsáveis por fixar o nitrogênio atmosférico e fazer os aproveitamentos dos nitratos, respectivamente. No caso de deficiência, o metabolismo do N é prejudicado e pode ser uma das principais causas da baixa produção nas culturas, bem como a produção de metabólitos nitrogenados (e. g., aminoácidos e proteínas) (VALENTINI; COELHO; FERREIRA, 2005).

A quantidade requerida pelas plantas em relação aos demais micronutrientes é a menor, e varia de acordo com a cultura (e. g., para o crescimento de alfafa, foi relatado a necessidade média de 0,23 mg de Mo por kg para o crescimento normal Zimmer; Mendel, (1999). Contudo, a disponibilidade desse microelemento para o crescimento das plantas pode ser afetada pelo pH do solo, concentrações de óxidos adsorventes, compostos orgânicos encontrados nos coloides dos solos e outros (KAISER et al., 2005). No caso pH ácido a disponibilidade diminui à medida em que a adsorção dos ânions aos óxidos do solo aumenta e em solos com pH mais alcalinos, ele só torna mais solúvel e acessível na forma iônica MoO_4 (KAISER et al., 2005).

Os resultados a partir da absorção e assimilação dos nutrientes são refletidos nas diferentes etapas do seu desenvolvimento, de tal modo que esses melhoram a produtividade de biomassa e condições químicas das plantas (FERREIRA et al., 2001; LACERDA et al., 2020).

2.3 Sorgo forrageiro como alternativa para alimentação animal

O sorgo representa o quinto cereal mais importante e valioso em termos econômicos do mundo, ficando atrás apenas do milho, trigo, arroz e a cevada (MONKHAN; CHEN; SOMTA, 2021; PUNIA et al., 2021). Sua utilização é considerada multivariada, podendo ser utilizado tanto na alimentação humana, servindo de alimento básico para muitas comunidades em diversas partes do mundo, quanto na alimentação animal e, também para produção de álcool, xarope e açúcar (PUNIA et al., 2021; TABOSA et al., 2020).

O sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench é uma planta advinda do clima tropical, e adaptada as regiões secas, de clima semiárido e em alguns casos a ambientes que podem ser caracterizados como clima árido (TABOSA et al., 2020). Segundo a literatura, possivelmente foi “domesticado” na Etiópia, por volta de 5.000 anos atrás, e posteriormente cultivado na África ocidental. É considerada uma cultura relativamente nova nas Américas, onde foi introduzido em 1857 nos Estados Unidos, e trazido ao Brasil através dos escravos, a partir da década de 70 ficando conhecido como milho d’angola (TABOSA et al., 2013).

Dentre as culturas com potencial forrageiro para região semiárida do Brasil, o sorgo tem se destacado devido suas características adaptativas, agrônômicas e nutricionais, sendo comumente utilizado na alimentação de animais ruminantes na forma *in natura* ou conservada (silagem ou feno), principalmente como fonte de fibra (SILVA et al., 2020). Essas características são claramente expostas na literatura como mostra os resultados encontrados por Silva et al., (2020), onde obtiveram em média 53,57 t ha⁻¹ na rebrota, enquanto no primeiro corte teve um rendimento de apenas 39,76 t ha⁻¹ de massa verde, mostrando a viabilidade para outras colheitas sem a necessidade de fazer novamente a instalação da cultura, ou até mesmo conduzir a rebrota da lavoura para pastejo em programas de Integração Agricultura-Pecuária (IAP) (FOLONI et al., 2008).

Em adição, o sorgo apresenta um perfil foliar de planta xerófita, por dispor de uma camada serosa e ausência de pilosidade, permitindo menor perda de água e, possui uma raiz fibrosa bem desenvolvida que pode chagar até 1,5m de profundidade, podendo resistir mais tempo à desidratação (SILVA et al., 2021).

Embora seja considerado uma cultura relativamente nova para o Brasil, o sorgo vem apresentando destaque em sua produtividade e na última safra concluída (2020/2021) foi estimado uma produtividade de 2,3 milhões de toneladas em todo o Brasil (CONAB, 2021). Nesse cenário, quando comparado com a viabilidade econômica do milho para alimentação animal, a produção de silagem de sorgo fica cerca de 30% mais barata em termos de sementes e adubação (PINO; HEINRICHS, 2017), ressaltando que os insumos de produção (e. g., sementes, fertilizantes e

defensivos) podem elevar o custo de produção, reduzindo as margens de lucro para o produtor (COÊLHO, 2020).

Tratando-se de componentes nutricionais, o sorgo apresenta características desejáveis para a alimentação dos animais, com a alta concentração de carboidratos solúveis, que é de grande importância para fermentação da silagem, possui um teor de proteína, variando entre 8 e 11% (AHMED et al., 2014; SANTIN et al., 2020) e teor médio de matéria seca em torno de 25% (VASCONCELOS FILHO et al., 2010). No entanto, as características químico-bromatológica é influenciada por vários fatores (i. e., idade de colheita, cultivar, época do ano e disponibilidade hídrica) (QUEIROZ et al., 2015).

Alguns fatores intrínsecos do solo como o pH, modifica a solubilidade e mobilidade dos elementos químicos no solo, influenciando diretamente nos aspectos nutricionais das plantas e consequentemente seus constituintes químicos e bromatológicos (AHMED et al., 2014). Desta forma torna-se importante a correção do solo e uma adubação adequada, bem como a interação entre eles.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada - UAST, com as seguintes coordenadas: latitude 7° 59' 7" Sul; longitude 38° 17' 34" Oeste, e altitude 499 m, no município de Serra Talhada (Figura 2).

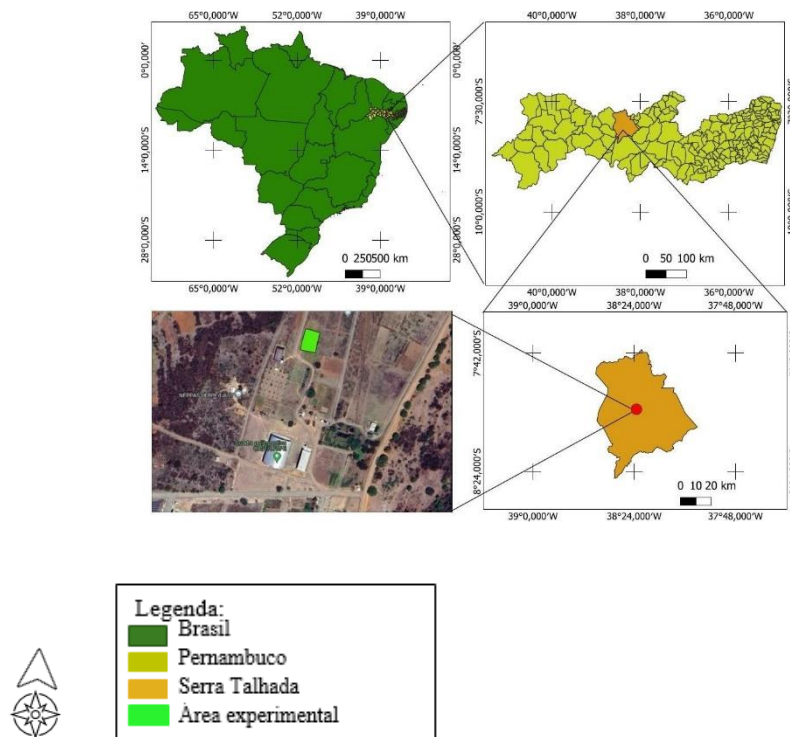


Figura 2. Localização da área experimental: Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada-PE, Brasil. **Fonte:** Adaptado de Henrique et al., 2024.

O clima local, é caracterizado segundo a classificação de Köppen do tipo BSw^h, Semiárido, chuvoso durante o verão e seco no período do inverno (ALVARES et al., 2013). Tendo a temperatura média anual 25°C, precipitação anual média 632 mm, umidade relativa do ar próxima aos 63% e uma demanda atmosférica com variações entre 1800 e 2000 mm ano⁻¹ (SILVA et al., 2010).

Durante o experimento as condições meteorológicas (Figura 3) foram observadas. A precipitação foi concentrada durante os meses de outubro de 2022 a maio de 2023, totalizando 746,6 mm. Entretanto, só os meses novembro (194 mm) e março (256,6 mm), juntos acumularam 450,6 mm, mais de 50% de toda precipitação do período experimental. A temperatura média diária foi de 25,97 °C, entretanto, foram registradas temperaturas máximas diária de até 34 °C, principalmente nos meses de setembro e outubro de 2022, os meses mais críticos para a cultura do sorgo, em termos de temperatura e precipitação.

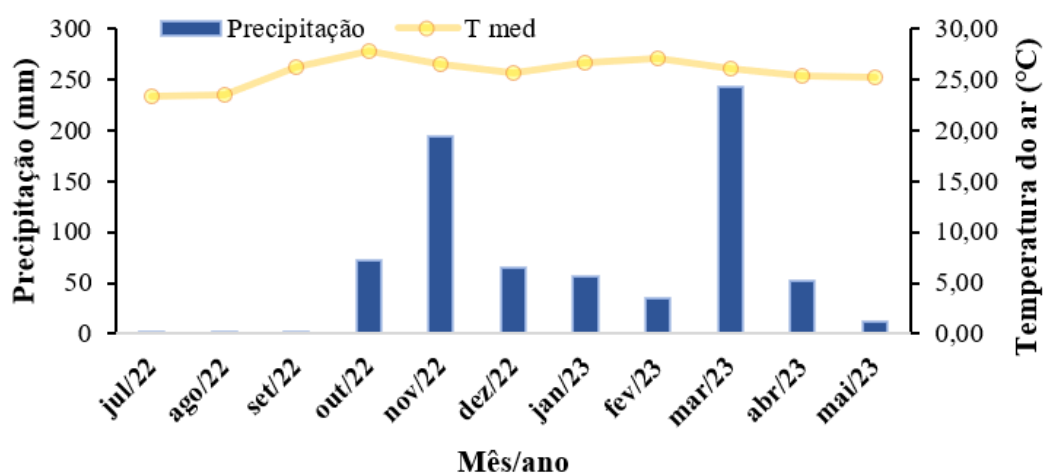


Figura 3. Precipitação pluviométrica (mm) acumulada e temperatura média do ar (°C) durante o período experimental.

A área total do experimento compreendeu aproximadamente 382 m², sendo subdividida em quatro blocos com dez parcelas experimentais. Dentro das parcelas foram semeadas sementes de sorgo (SF15) em sucros com aproximadamente 0,05 cm de profundidade, espaçadas a 0,80 m entre fileira, e 0,20 m entre plantas, deixando em média 15 plantas por metro linear após o desbaste. O delineamento adotado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial de 5x2, com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais, sendo os tratamentos correspondentes a cinco doses de N (0, 50, 100, 150, 300 kg ha⁻¹), correspondendo a 33 g, 66 g, 100 g, e 200 g, (fonte comercial utilizada foi a ureia) aplicado via solo, sendo 1/3 aplicado nos sulcos durante o semeio e, 2/3 complementar 25 dias após a emergência, e duas doses de molibdênio (fonte comercial utilizada molibdato de sódio) (0, e 160 g ha⁻¹) (Figura 4). As doses de Mo foram determinadas baseando-se no trabalho realizado por Cirino Júnior et al, (2023).

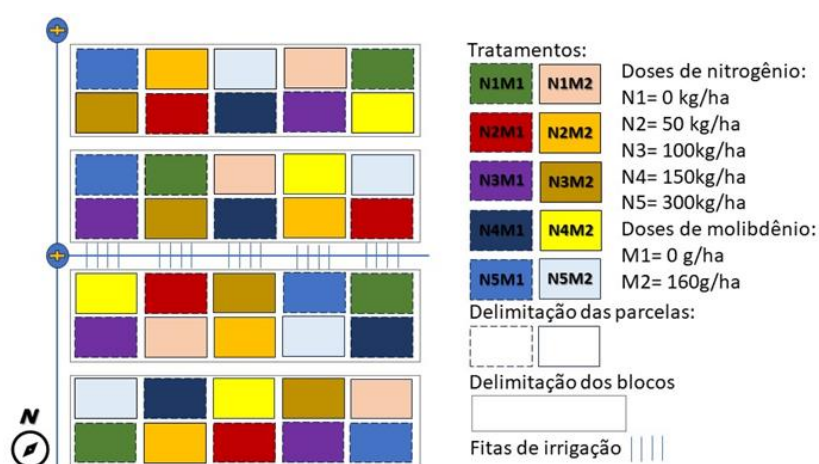


Figura 4. Ilustração da área experimental e distribuição dos tratamentos no cultivo do sorgo Forrageiro na cidade de Serra Talhada – PE, Brasil. **Fonte:** elaborada pela autora.

O solo da área é classificado como o Cambissolo Háplico Ta Eutrófico Típico, seus atributos químicos e físicos podem ser conferidos a seguir (Tabela 1), conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SBCS (SANTOS et al., 2018).

Tabela 1. Atributos químicos e físicos de solo Cambissolo Háplico Típico da área experimental, em Serra Talhada, PE, Brasil.

Atributos químicos															
Prof	P	pH	K	Na	Al	Ca	RAS	Mg	H+Al	SB	CTC	V	PST	M.O	
cm	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³								%			
0-20	38,3	6,71	0,48	0,11	0	3,61	0,09	2,61	0,47	6,81	7,28	93,54	1,51	1,14	
20-40	38,8	6,74	0,4	0,19	0	3,9	0,14	2,67	0,5	7,16	7,66	93,47	2,48	0,94	

Atributos físicos											
Prof	DS	DP	PT	AN	GF	AT	AG	AF	Silte	Argila	
cm	g cm ⁻³		%			%					
0-20	1,61	2,53	36,26	4,32	59	73,6	44,5	29,1	15,9	10,5	
20-40	1,66	2,47	32,8	4,39	58,31	72,2	48,88	23,34	17,2	10,5	

Prof = profundidade; P-Fósforo (determinado pelo método de Mehlich); pH- Potencial hidrogeniônico; K- Potássio; Na- Sódio; Al- Alumínio; Ca- Cálcio; RAS- Relação de Adsorção de Sódio; Mg- Magnésio; H+Al- Acidez potencial, SB- Soma de bases; CTC-Capacidade de troca de cátions; V- Saturação por base; PST-Percentagem de sódio trocável, MO- Matéria Orgânica; DS = Densidade do solo; DP = Densidade de partícula; PT = Porosidade total; AN = Areia natural; GF = Grau de floculação; AT = Areia total; AG = Areia Grossa; AF = Areia fina.

3.2 Condução experimental

O experimento foi conduzido durante três ciclos da cultura, com duração média de 99 dias entre ciclos. O primeiro ciclo foi de 15/07/2022 a 01/11/2022 (duração de 108 dias), o segundo de

02/11/2023 a 30/01/2023 (duração de 90 dias) e o terceiro de 31/01/2023 até 09/05/2023 (duração de 99 dias). A fonte de N usada foi a ureia, para o ciclo um, foi depositada e incorporada no solo, sendo 1/3 aplicado logo após o semeio, e 2/3 complementar após 25 da emergência das plantas. Para o ciclo dois e três, 1/3 da ureia foi aplicada dez dias após o corte, e 2/3 complementar, após 30 dias do corte. No final das aplicações, foi realizada uma lâmina de irrigação para evitar perdas por volatilização. Para a fonte de molibdênio (molibdato de sódio), foi diluída 16 g em 20 L, e aplicada via foliar com a utilização de pulverizador costal agrícola de pressão, com capacidade de 20 litros, 40 dias após a primeira aplicação do nitrogênio para o primeiro ciclo, e para o ciclo dois e três, a aplicação foi realizada 40 dias após o corte.

3.2.1 Irrigação

O suprimento de água foi realizado com turno de rega a cada dois dias, por um sistema de gotejamento, com emissores espaçados a 0,20 cm. A lâmina aplicada foi de 50% da exigência hídrica da cultura, seguindo as recomendações de acordo com a evapotranspiração da cultura, sempre respeitando a demanda para cada fase fenológica. A aplicação de 50% da exigência hídrica da cultura, foi baseada na pesquisa realizada por Oresca et al, (2021). A água utilizada foi de um poço artesiano, com as seguintes características: pH= 6,84, Na⁺= 0,08 mg L⁻¹, K⁺= 0,01 mg L⁻¹, Cl⁻= 329,44 mg L⁻¹ e condutividade elétrica de 1,62 dS m⁻¹.

Para o cálculo da lâmina de água aplicada, foi utilizado o modelo matemático: ETc=ETo*Kc; onde, ETc: Evapotranspiração da cultura (mm d⁻¹); ETo: Evapotranspiração de referência (mm d⁻¹); Kc: Coeficiente da cultura. A evapotranspiração de referência foi obtida diariamente durante o período experimento, através da equação de Penman Monteith (Eq. 1) parametrizada no boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998), em que:

(Eq. 1)

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{t_{med} + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

ETo = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); Δ = declividade da curva da pressão de saturação do vapor d'água no ar (kPa °C⁻¹); Rn = saldo de radiação à superfície de cultivo (MJ m⁻² dia⁻¹); G = densidade do fluxo de calor sensível no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); t_{med} = temperatura do ar média diária (°C); u₂ = velocidade do vento a 2 m de altura (ms⁻¹); e_s = pressão de saturação do vapor d'água (kPa); e_a = pressão parcial do vapor d'água (kPa); γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹). O fluxo de calor no solo (G) é ignorado para cálculos diários.

Quanto aos dados meteorológicos, foram coletados durante todo período experimental da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a qual ficava localizada a uma distância de 300 metros da área experimental.

3.3 Análises biométricas

Ao final de cada ciclo produtivo, foram escolhidas cinco plantas dentro das linhas úteis de cada parcela, e foram avaliadas as seguintes variáveis: Altura de planta (AP, cm), sendo considerada a distância vertical entre base da planta até a inserção da panícula; comprimento da folha mais desenvolvida (CF, cm), para essa variável considerou o comprimento horizontal entre a lígula até a extremidade da folha; largura da folha mais desenvolvida (LF, cm) foi medida considerando a parte média do comprimento da folha; largura média da planta (LMP, cm), consiste no somatório das duas maiores larguras horizontais entre a extremidade da planta, dividido por dois. Todas essas medidas foram realizadas com auxílio de uma fita métrica. A espessura do colmo (EC, cm) foi medida numa altura de 10 cm acima do solo com o auxílio de um paquímetro universal, com precisão de 0,05 mm. Além dessas variáveis, também foram contabilizados o número de folhas vivas (NFV, unidade) e número de folhas mortas (NFM, unidade), sendo considerada folhas mortas as que possuíam mais de 50% do limbo foliar senescente.

Com os dados de LF e CF foram calculados os valores de área foliar da folha mais desenvolvida (AF, cm²) por meio da equação proposta por Guimarães, Sans e Moraes, (2002) onde :

$$AF^{3+} \text{ (cm}^2\text{)} = (0,74 \times LF^{3+} \times CF^{3+})$$

3.4 Produtividade

Para o acúmulo de forragem, ao final de cada ciclo produtivo, foram contabilizadas o número de plantas em dois metros lineares dentro das duas fileiras centrais, obtendo a densidade final das plantas. Posteriormente, foram colhidas e pesadas cinco plantas da parcela útil para obter o valor da massa natural (MN). Em seguida, as plantas foram trituradas em máquina forrageira para diminuir o tamanho da partícula. Após a trituração, coletou-se 500 mg por tratamento, foram acondicionadas em sacos de papel craft previamente identificados, seguindo para estufa de circulação de ar forçada a 55 °C, permanecendo por 72 horas, até atingirem peso constate. Após esse procedimento, retirou-se os sacos das estufas e foram deixados em cima da bancada do laboratório até atingir a temperatura ambiente, e posteriormente pesados em balança semi analítica, obtendo-se o valor da massa seca. A relação entre a massa verde e a massa seca, resultou nos teores de matéria seca da planta. Para estimar a produtividade da massa natural (PMN kg ha⁻¹), foi considerado a massa natural total e densidade final das plantas. Para estimar a produtividade de massa seca (PMS kg ha⁻¹), considerou-se os teores de matéria seca da planta e os valores estimados da massa verde das plantas.

3.5 Análises bromatológica

Com as amostras pré-secas, foram moídas em moinho de facas tipo Willey, passado por peneiras de crivos com 1 mm de diâmetro, em seguida acondicionada em sacos plásticos previamente identificados, para posteriormente serem usadas para determinação nutricional do sorgo.

Para a análise de matéria seca (MS) foi utilizado o método (G-003/1), onde cerca de 2 g das amostras pré-secas foram colocadas em cadinhos previamente identificados e levados para estufa de circulação forçada de ar, a uma temperatura de 105 °C durante 16 horas, a fim de retirar totalmente o conteúdo de água da amostra. Para matéria mineral (MM) o método (M-001/2), onde as amostras que foram secas na estufa a 105 °C, foram colocadas na mufla, a uma temperatura de 550 °C durante três horas, para que o material fosse incinerado, e ao final, obteve o conteúdo de cinzas. Para proteína bruta (PB) método de Kjeldahl, inicialmente foi realizado a digestão das amostras, seguida pela destilação e ao final foram tituladas. Fibra em detergente neutro (FDN) pelo método (F-001/2), onde as amostras foram colocadas em sacos de TNT (4 cm x 4,5 cm) previamente identificados, levados para o aparelho analisador de fibras, o qual foi adicionado uma solução de detergente neutro, e a enzima alfa amilase, aquecido a uma temperatura de 105 °C durante uma hora, posteriormente, foram lavados, pesados e determinado o teor da FDN (DETMAN et al., 2021).

3.6 Delineamento e análise estatística

O modelo estatístico adotado foi:

$$y_{ijk} = m + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + e_{ijk}$$

Onde: y_{ijk} = repetição, m = média geral, A_i = efeito da aplicação do N no sorgo, B_j = efeito da aplicação do Mo no sorgo, C_k = efeito do ciclo no sorgo, $(AB)_{ij}$ = é o efeito da interação entre o A_i e B_j , $(AC)_{ik}$ = é o efeito da interação entre A_i e C_k , $(BC)_{jk}$ = o efeito da interação entre B_j e C_k , $(ABC)_{ijk}$ = o efeito da interação entre A_i , B_j , e C_k , e e_{klj} = é o erro aleatório.

Os dados foram submetidos a análise de normalidade e homoscedasticidade. Atendendo as premissas, foi realizado a análise de variância (ANOVA). Para todas as variáveis foi realizado o teste F ($p < 0,05$), quando significativo, realizou-se a análise de regressão para os tratamentos com nitrogênio. Os dados também foram submetidos a análise de componentes principais (PCA). Todas as análises de dados e gráficos foram realizadas na linguagem R, pela interface do RStudio versão 4.3.0 e SigmaPlot 15.0, respectivamente.

4. RESULTADOS

4.1 Características morfométricas

A análise das interações significativas considerando as variáveis biométricas altura da planta (AP), largura média da planta (LMP), espessura do colmo (EC), número de folhas vivas (NFV), número de folhas mortas (NFM), comprimento da folha mais desenvolvida (CF), largura da folha mais desenvolvida (LF) e área foliar (AF), leva em conta as definições fornecidas e as interações complexas entre ciclo, doses de nitrogênio (N) e doses de molibdênio (Mo).

Cada interação revela como os ciclos de desenvolvimento e as diferentes doses dos nutrientes afetam o comportamento dessas variáveis, logo, para os ciclos isolados tem em vista que a rebrota 2 foi superior ao ciclo rebrota 1 ($p=0,00$, Tabela 2) e ciclo planta em praticamente todas as variáveis, com exceção do NFM. Para as doses de Mo ($p=0,00$, Tabela 2) apenas NFV mostrou diferença estatística, onde a ausência do micronutriente foi superior à sua dose de 160 g ha^{-1} .

Na interação Ciclo x N, observamos que o ciclo (planta, rebrota 1 e rebrota 2) influencia a resposta das variáveis biométricas, onde a AP obteve diferença estatística ($p=0,00$, Tabela 2), evidenciando que o ciclo rebrota 1 obteve a melhor altura de plantas entre os ciclos para a dose de 100 kg ha^{-1} de N, além disso, comparando as doses dentro de cada ciclo isoladamente, é possível notar que para a AP, as doses mais elevadas de N resultam em maior crescimento, especialmente nas rebrotas. Para espessura do colmo (EC) e comprimento da folha mais desenvolvida (CF) o comportamento se repete ($p=0,00$, Tabela 2), onde ao passo que se aumentam as doses de N entre os ciclos, a rebrota 2 é quase sempre superior, igualmente quando se comparam as doses dentro de cada ciclo, tendo as maiores médias as maiores doses de nitrogênio.

Para largura foliar (LF), o ciclo rebrota 1 foi superior na maioria das doses de nitrogênio, onde a dose de 100 kg ha^{-1} rendeu a maior LF ($p=0,00$, Tabela 2), comparando as doses crescentes de N dentro de cada ciclo é notável que para a fase inicial, a maior dose de N (300 kg ha^{-1}) é superior as demais, entretanto, para a rebrota 2, as doses de 50 e 150 kg ha^{-1} de N foram as que obtiveram maior incremento na largura foliar do sorgo.

O número de folhas vivas (NFV), no ciclo rebrota 2 sem aplicação de N proporcionaram o maior valor da variável ($p=0,03$, Tabela 2), assim como comparando as doses dentro do ciclo para o rebrota 2, a maior média é obtida quando não se aplica nitrogênio isso se repete para o número de folhas mortas (NFM) onde a maior média dentro do ciclo planta foi na dose 0 kg ha^{-1} de N ($p=0,00$, Tabela 2), entretanto, no ciclo planta para NFV temos comportamento diferente, visto que a dose que maior proporciona incremento no número de folhas vivas é 150 kg ha^{-1} de N ($p=0,00$, Tabela 2). O

NFM obteve diferença estatística para os ciclos, onde o ciclo rebrota 1 obteve maior incremento nas maiores doses de N.

A Largura Média da Planta (LMP) ($p=0,00$, Tabela 2) não apresentou diferença estatística quanto as doses de N dentro de cada ciclo, porém, dentre os ciclos planta e rebrota 1 é possível observar que a maior dose de N 300 kg ha^{-1} proporcionou incremento para a variável em comparação as demais.

Na interação Ciclo x Mo, percebemos que o efeito do ciclo nas variáveis biométricas, EC, CF, NFV, NFM e LMP é mais pronunciado em ciclos finais ($p=0,00$; $0,00$; $0,03$; $0,00$, Tabela 2), onde ao passo que se aumentam os ciclos junto com a maior dose de Mo se obtém incremento nas variáveis. Para as doses de Mo, a aplicação de 160 g ha^{-1} de Mo no ciclo planta diminui a EC, enquanto esse efeito incrementa nas rebrotas, onde o efeito do molibdênio pode ser mais perceptível. O CF e LMP obtiveram as maiores médias com as maiores doses de Mo no ciclo rebrota 2 ($p=0,00$, Tabela 2).

Na interação N e Mo, há uma variação significativa na resposta das plantas às combinações desses nutrientes. O comprimento da folha mais desenvolvida (CF) e a altura de planta (AP) são particularmente influenciados ($p=0,00$, Tabela 2), onde a dose de 100 kg ha^{-1} de N, juntamente com a presença do Mo proporciona maior altura de planta e para CF 300 kg ha^{-1} de N com a aplicação de 160 g ha^{-1} de Mo incrementa o comprimento da folha mais desenvolvida. Para o NFV e NFM temos comportamento semelhante, onde para NFV ao passo que aumentam as doses de N na presença de molibdênio, a variável tem incremento positivo ($p=0,00$, Tabela 2), e o mesmo se observa para NFM, onde as maiores médias estão na dose de 300 kg ha^{-1} de N na presença de Mo ($p=0,00$, Tabela 2).

Na interação Ciclo x N x Mo, os resultados indicam que a AP foi significativamente influenciada pelo ciclo, pelas doses de N e Mo, bem como pelas suas interações. Na planta inicial, a altura máxima de $147,0 \text{ cm}$ foi obtida com a dose de 50 kg ha^{-1} de N e 0 g ha^{-1} de Mo, enquanto a menor altura foi de $120,75 \text{ cm}$ na rebrota 1 sem adição de N e Mo ($p=0,00$, Tabela 2). A Espessura do Colmo (EC) mostrou uma resposta similar ($p=0,00$, Tabela 2), onde os valores máximos foram obtidos na rebrota 2 com 16 mm utilizando 150 kg ha^{-1} de N e 160 g ha^{-1} de Mo. No entanto, a rebrota 1 apresentou os menores valores com doses baixas de N e sem Mo, indicando que a suplementação de Mo se torna mais importante nos estágios posteriores de desenvolvimento.

O CF também seguiu esse padrão ($p=0,00$, Tabela 2), com valores superiores observados nas rebrotas, especialmente na rebrota 2, onde a interação entre 150 kg ha^{-1} de N e 160 g ha^{-1} de Mo resultou em um comprimento de $82,75 \text{ cm}$. Quanto ao NFV, verificou-se que o aumento da dose de N, especialmente quando combinado com Mo na rebrota 2, favoreceu um maior número de folhas vivas ($p=0,00$, Tabela 2), com um máximo de $8,25$ folhas. O NFM, por outro lado, apresentou um comportamento distinto ($p=0,00$, Tabela 2). Na planta inicial, as doses mais elevadas de N e a

presença de Mo resultaram em um menor número de folhas mortas. A AF foi maximizada na rebrota 2, com um valor de 350 cm² utilizando 300 kg ha⁻¹ de N e 160 g ha⁻¹ de Mo, indicando que a combinação de altas doses de N e Mo promove uma maior área foliar em ciclos mais avançados. A LMP mostrou variação significativa ao longo dos ciclos ($p=0,00$, Tabela 2), com os maiores valores também observados na rebrota 2, novamente indicando a eficácia das doses combinadas de N e Mo nesse estágio.

Em resumo, a interação entre ciclo, doses de N e Mo evidencia que o manejo nutricional deve ser adaptado aos diferentes estágios de desenvolvimento da planta. Enquanto doses iniciais de N são mais críticas para a fase de planta inicial, a aplicação de Mo ganha importância nas rebrotas, maximizando variáveis como área foliar e altura.

Tabela 2. Características morfológicas do sorgo SF-15 adubado com doses crescentes de N associado ou não ao Mo, cultivado em condições de déficit hídrico no semiárido de PE.

Ciclos	AP (cm)	EC (mm)	CF (cm)	AF (cm ²)	NFV	NFM	LMP (cm)	
Planta	131,47b	13,75b	61,25b	281,75b	7,07a	5,15b	73,75c	
Rebrota 1	225,47a	13,80b	76,07a	351,97a	5,37b	6,25a	84,70b	
Rebrota 2	220,90a	16,32a	76,97a	338,37a	7,32a	5,17b	98,97a	
CV (%)	9,47	13,60	7,68	10,41	9,29	14,96	17,02	
<i>p</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Doses de Mo (g ha ⁻¹)					NFV			
160					6,45b			
0					6,73a			
CV (%)					9,29			
<i>p</i>					0,01			
Ciclo x N (Kg ha ⁻¹)	AP (cm)	EC (mm)	CF (cm)	LF (cm)	AF (cm ²)	NFV	NFM	LMP (cm)
Planta 0	124,75bA	12,00bB	60,87bA	5,87aAB	262,62bB	6,62bB	6,12aA	70,00bA
Planta 50	138,00bA	14,87abA	57,00bA	6,25aAB	259,25bB	6,87aAB	5,50bAB	67,25cA
Planta 100	136,87cA	12,87bAB	60,12bA	5,75bB	252,25cB	6,87aAB	5,12bAB	72,62bA
Planta 150	128,12bA	13,87aAB	63,62bA	6,37aAB	312,37bA	7,62aA	4,50cB	77,37bA
Planta 300	129,62bA	15,12abA	64,62bA	6,75aA	322,25bA	7,37aAB	4,50bB	81,50aA
Rebrota 1 0	139,25abC	13,12bA	72,37aB	5,12aB	258,12bB	5,75cA	5,37abB	83,87abA
Rebrota 1 50	241,50aB	14,00bA	80,37aA	6,12aA	372,37aA	5,12bA	6,75aA	85,37bA
Rebrota 1 100	272,75aA	15,00abA	73,12aB	6,62aA	362,12aA	5,25bA	6,25aAB	80,75abA

Rebrota 1	150	231,62aB	13,75aA	77,25aB	6,87aA	393,75aA	5,37bA	6,75aA	85,87abA
Rebrota 1	300	242,25aB	13,12bA	77,25aB	6,50aA	373,50aA	5,37bA	6,12aAB	87,62aA
Rebrota 2	0	153,87aB	16,00aA	75,87aA	5,50aB	310,50aBC	7,87aA	4,62bB	96,25aA
Rebrota 2	50	225,87aA	16,50aA	77,75aA	6,50aA	365,00aA	7,00aB	5,87abA	110,75aA
Rebrota 2	100	235,62bA	15,87aA	74,87aA	5,37bB	297,75bC	7,00aB	4,50bB	95,75aA
Rebrota 2	150	247,87aA	15,87aA	75,87aA	6,62aA	364,62aA	7,50aAB	5,62bAB	95,87aA
Rebrota 2	300	241,25aA	17,37aA	80,50aA	6,00aAB	354,00abB	7,25aAB	5,23abB	96,25aA
CV (%)		9,70	13,60	7,68	11,38	10,41	9,29	14,96	17,02
<i>p</i>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00

Ciclo x Mo (g ha ⁻¹)		EC (mm)	CF (cm)	NFV	NFM	LMP (cm)
Planta	0	13,90bA	59,55bA	6,75bB	5,35bA	72,95bA
Planta	160	13,60bA	62,95bA	7,40aA	5,05bA	74,55cA
Rebrota 1	0	13,35bA	76,85aA	5,25cA	6,15aA	83,50bA
Rebrota 1	160	14,25bA	75,30aA	5,50bA	6,35aA	85,90bA
Rebrota 2	0	16,05aA	77,80aA	7,35aA	5,20bA	95,30aA
Rebrota 2	160	16,60aA	76,15aA	7,30aA	5,15bA	102,65aA
CV (%)		13,60	7,68	9,29	14,96	17,02
<i>p</i>		0,00	0,00	0,03	0,00	0,00

N (kg ha ⁻¹) x Mo (g ha ⁻¹)		AP (cm)	EC (mm)	CF (cm)	NFV	NFM	LMP (cm)
0	0	132,75bA	13,66aA	65,83cB	6,58aA	5,33bA	80,75aA
50	0	217,83aA	14,58aA	73,58aA	6,16aA	6,58aA	82,91aA
100	0	199,25aB	14,25aA	69,58bA	6,66aA	4,91bB	84,50aA

150	0		202,08aA	14,41aA	71,58aA		6,58aB	5,75abA	84,58aA
300	0		204,25aA	15,25aA	76,41aA		6,25aB	5,08bA	86,83aA
0	160		145,83cA	13,75aA	73,58aA		6,91aA	5,41aA	86,26aA
50	160		187,75bB	14,58aA	69,83aA		6,50abA	5,66aB	83,16aA
100	160		230,91aA	14,75aA	69,16aA		6,08bB	5,50aA	88,25aA
150	160		203,00bA	16,00aA	72,91aA		7,08aA	5,50aA	92,33aA
300	160		204,50bA	15,00aA	71,83aB		7,08aA	5,50aA	88,75aA
CV (%)			9,70	13,60	7,68		9,29	14,96	17,02
<i>p</i>			0,00	0,00	0,00		0,03	0,00	0,00
C x N x Mo			AP (cm)	EC (mm)	CF (cm)	NFV	NFM	AF (cm ²)	LMP (cm)
Planta	0	0	126,75aAa	12,50aa	57,25bAb	6,50abAa	6,25aAa	251,25ba	68,50aAa
Planta	50	0	147,00cAa	15,50aAa	59,00bAb	6,50abAa	5,75bABa	282,75ba	65,25bAa
Planta	100	0	135,25ba	13,25aAa	58,75bAb	7,25aA	4,75abAa	248,50bAa	75,75aAa
Planta	150	0	126,25ba	13,75aAa	59,75bb	6,75bAb	5,25aABa	299,25ba	74,50aAa
Planta	300	0	134,50bAa	14,50abAa	63,00bAb	8,50aAb	4,25bBa	291,75bb	80,75aAa
Planta	0	160	122,75ba	11,50bBa	64,50bBb	6,75bCa	6,00aAa	274,00aCa	71,50bAa
Planta	50	160	129,00bAa	14,25aBa	55,00bBb	7,25aBCa	5,25aABa	235,75ba	69,25bAa
Planta	100	160	138,50caAa	12,50aABa	61,50bBb	6,50aCa	5,50abAa	256,00bCa	69,50bAa
Planta	150	160	130,00bAa	14,00aABa	67,50bAa	8,50aAb	3,75bBb	325,50bABa	80,25aAa
Planta	300	160	124,75ba	15,75aAa	66,25bAb	8,00aABa	4,75bABa	352,75aAa	82,25aAa
Rebrota 1	0	0	120,75aCb	13,25aAa	68,00aBb	5,75aBa	5,00abBa	223,00bBb	80,50aAa
Rebrota 1	50	0	274,75aAa	13,75aAa	81,75aAb	5,00bAa	7,50aABa	389,25aAa	85,25bAa

Rebrota 1	100	0	240,25aBb	14,50aAa	74,0aABa	5,50bAa	6,50aABa	369,25aAa	80,00aAa
Rebrota 1	150	0	233,75aBa	13,25aAa	77,0aABa	5,00cAa	6,50aABa	391,00aAa	85,25aAa
Rebrota 1	300	0	235,50aBa	12,00bAa	83,50aAa	5,00bA	5,75aBa	391,50aAa	86,50aAa
Rebrota 1	0	160	157,75aDa	13,00bAa	76,75aa	5,75bAa	5,75abAa	293,25aBa	87,25abAa
Rebrota 1	50	160	208,25aCb	14,25aAa	79,00aAa	5,25bAa	6,00aAb	355,50aABa	85,50bAa
Rebrota 1	100	160	305,25aAa	15,5aAa	72,25aAa	5,00bAa	6,50aAa	355,00aABa	81,5abAa
Rebrota 1	150	160	229,50aBa	14,25aAa	77,50aAa	5,75Baa	7,00aAa	396,50aAa	86,50aAa
Rebrota 1	300	160	249,00aBa	14,25bAa	71,00abAb	5,75bAa	6,50aAa	355,50aAa	88,75aAa
Rebrota 2	0	0	150,75aBa	15,25aAa	72,25aAa	7,50aAa	4,75bBa	323,50aABa	93,25aAa
Rebrota 2	50	0	231,75ba	16,50aAa	80,00aAa	7,00Aaa	6,50abAa	372,75aAa	110,0aAa
Rebrota 2	100	0	222,25aAb	16,00aAa	76,00aAa	7,25aAa	4,00bBa	297,25bBa	93,00aAa
Rebrota 2	150	0	246,25aAa	15,75aAa	78,00aAa	8,0aAa	5,5aABa	374,50aAa	93,75aAa
Rebrota 2	300	0	242,75aAa	16,75aAa	82,75aAa	7,0aAa	5,25abAa	357,5aABa	86,50aAa
Rebrota 2	0	160	157,0aBa	16,75aAa	79,50aAa	8,25aAa	4,50bAa	297,50aAa	99,25aAa
Rebrota 2	50	160	220,0aAa	16,50aAa	75,5aAa	7,0aBa	5,25aABb	357,25aAa	111,5aAa
Rebrota 2	100	160	249,0bAa	15,75aAa	73,75aAa	6,75aBa	5,00bAa	298,25aba	98,5aAa
Rebrota 2	150	160	249,50aAa	16,00aAa	73,75aAa	7,0aBb	5,75aAa	354,75aba	98,00aAa
Rebrota 2	300	160	239,75aAa	18,00aAa	78,25aAa	7,5aABa	5,25abAa	350,50aAa	106,00aAa
CV (%)			9,7	13,6	7,68	9,29	14,96	10,41	17,02
p			0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00

AP = Altura da Planta; LMP = Largura Média da Planta; EC = Espessura do Colmo; NFV = Número de Folhas Vivas; NFM = Número de Folhas Mortas; CF = Comprimento da Folha mais desenvolvida; LF = Largura da Folha mais desenvolvida; AF = Área Foliar. Nas interações Ciclo x N, letra minúscula se remete aos ciclos e maiúscula as doses de N; Ciclo x Mo, letra minúscula se remete aos ciclos e maiúscula as doses de Mo; N x Mo, letra minúscula se remete aos Nitrogênio e maiúscula as doses de Mo; C x N x Mo, letra minúscula se remete aos ciclos, letra minúscula em itálico as doses de Mo e maiúscula as doses de N. Médias seguida da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

A altura da planta (AP) na Figura 5, apresentou uma resposta quadrática significativa ao aumento das doses de nitrogênio ($p=0,01$), com a equação de regressão apontando para uma dose de máxima eficiência (DME) de aproximadamente 197,34 kg ha⁻¹ de N. Este resultado sugere que a altura do sorgo SF-15 atinge seu ponto máximo de desenvolvimento nesta dosagem, o que implica em uma resposta positiva ao incremento de N até esse limite. Doses superiores, conforme indicado pela equação, resultariam em um decréscimo da altura.

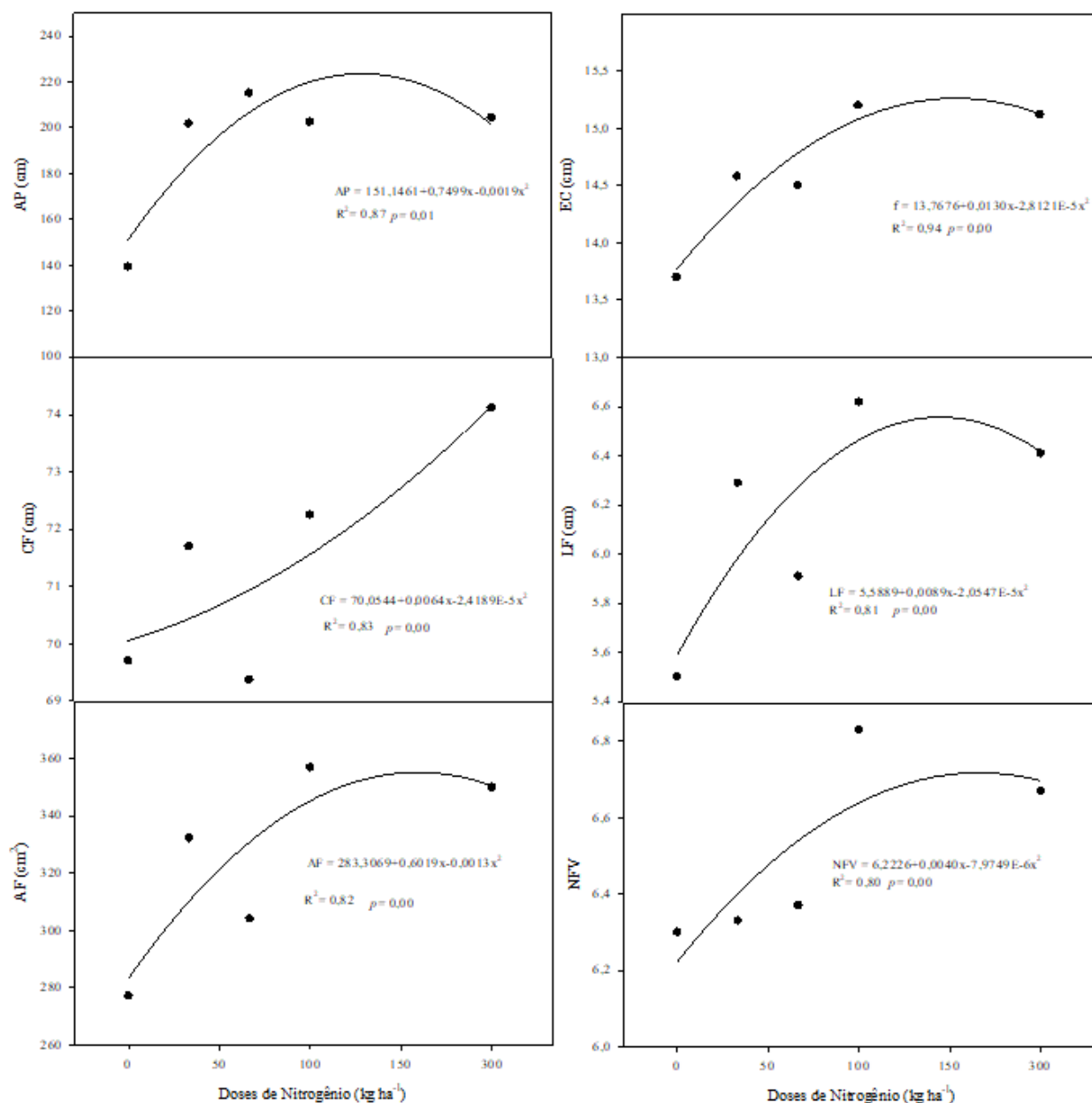


Figura 5. Altura da Planta (AP), Espessura do Colmo (EC), Comprimento da Folha mais desenvolvida (CF), Largura da Folha mais desenvolvida (LF), Área Foliar (AF) e Número de Folhas Vivas (NFV) do sorgo SF-15 adubado com doses crescentes de N associado ou não ao Mo, cultivado em condições de déficit hídrico no semiárido de PE.

A espessura do colmo (EC) (Figura 5) ($p=0,00$), também respondeu de forma quadrática ao nitrogênio, no entanto, a DME calculada foi de 231 kg ha⁻¹ de N, um valor significativamente maior que o observado para a altura da planta.

O comprimento da folha mais desenvolvida (CF) (Figura 5) apresentou um comportamento semelhante ($p=0,00$), com uma DME de aproximadamente 132 kg ha⁻¹ de N. A largura da folha (LF) também apresentou uma resposta quadrática ao aumento das doses de N ($p=0,00$).

No que se refere ao número de folhas vivas (NF) (Figura 5) ($p=0,00$), a equação de regressão indicou uma DME de 251 kg ha⁻¹. Já para a área foliar (AF) (Figura 5), um indicador crucial da capacidade fotossintética total da planta, respondeu ao nitrogênio com uma DME de aproximadamente 231,50 kg ha⁻¹ ($p=0,00$).

4.2 Características produtivas

No tratamento ciclo, constatou-se diferença significativa para as variáveis produção de matéria natural (PMN), produção de matéria seca (PMS) e produção de proteína bruta (PPB). Observa-se que a produtividade dessas variáveis foi significativamente maior na rebrota 1, com 21,71 t ha⁻¹, 6,68 t ha⁻¹ e 0,43 t ha⁻¹, respectivamente ($p=0,00$, Tabela 3). Tais variáveis ainda foram influenciadas significativamente pela interação ciclo *versus* doses de N. Os maiores valores obtidos pela PMN, PMS e PPB ocorreu na interação rebrota 1 e dose 100 kg ha⁻¹ de N, obtendo uma produtividade de 31,87 t ha⁻¹ ($p=0,04$, Tabela 3), 10,27 t ha⁻¹ ($p=0,00$, Tabela 3) e 0,59 t ha⁻¹ ($p=0,01$, Tabela 3), respectivamente.

Tabela 3. Produtividade do sorgo SF-15 adubado com doses crescentes de N associado ou não ao Mo, cultivado em condições de déficit hídrico no semiárido de PE.

Ciclos		PMN (t ha ⁻¹)	PMS (t ha ⁻¹)	PPB (t ha ⁻¹)
Planta		14,10c	3,69c	0,26c
Rebrota 1		21,71a	6,68a	0,43a
Rebrota 2		18,97b	5,18b	0,30b
CV (%)		38,8	39,03	36,49
<i>p</i>		0,00	0,00	0,00
Ciclo x N (Kg ha ⁻¹)		PMN (t ha ⁻¹)	PMS (t ha ⁻¹)	PPB (t ha ⁻¹)
Planta	0	9,68aA	2,54aA	0,15aC
Planta	50	15,75aA	4,22bA	0,29aB
Planta	100	14,56bA	3,86bA	0,20bB
Planta	150	12,55aA	3,16bA	0,24bC

Planta	300	17,93aA	4,66bA	0,44aB
Rebrota 1	0	10,16aC	2,46aC	0,11aB
Rebrota 1	50	22,59aAB	6,92aB	0,37aA
Rebrota 1	100	31,87aA	10,27aA	0,59aA
Rebrota 1	150	20,85aB	6,53aB	0,46aA
Rebrota 1	300	23,09aAB	7,21aB	0,62aA
Rebrota 2	0	9,48aB	2,15aB	0,17aA
Rebrota 2	50	20,40aA	5,83bA	0,29aB
Rebrota 2	100	19,51bA	5,51bA	0,25bB
Rebrota 2	150	20,11aA	5,29abA	0,32abB
Rebrota 2	300	25,34aA	7,11aA	0,45aC
CV (%)		38,8	39,03	36,49
<i>p</i>		0,04	0,00	0,01

Produção de matéria natural (PMN), produção de matéria seca (PMS) e produção de proteína bruta (PPB). Nas interações Ciclo x N, letra minúscula se remete aos ciclos e maiúscula as doses de N. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

No tratamento doses de nitrogênio (N), também constatou-se diferença significativa para as variáveis PMN, PMS e PPB ($p \geq 0,05$, Figura 6). As variáveis PMN ($p = 0,04$, Figura 6) e PMS ($p = 0,01$, Figura 6) obtiveram comportamento semelhante, apresentando um aumento inicial à medida que as doses de nitrogênio foram aumentando, atingindo um pico em torno de 150 kg ha⁻¹ N. Após esse ponto, essas variáveis começaram a diminuir com o aumento adicional das doses, particularmente na dose mais alta de 300 kg ha⁻¹ N ($p = 0,00$, Figura 6). Enquanto isso, a variável PPB mostrou uma tendência de aumento em resposta às doses crescentes de N. Nos níveis mais baixos de N, os valores de PPB eram menores, mas com o aumento das doses, observou-se um crescimento constante ($p = 0,03$, Figura 6).

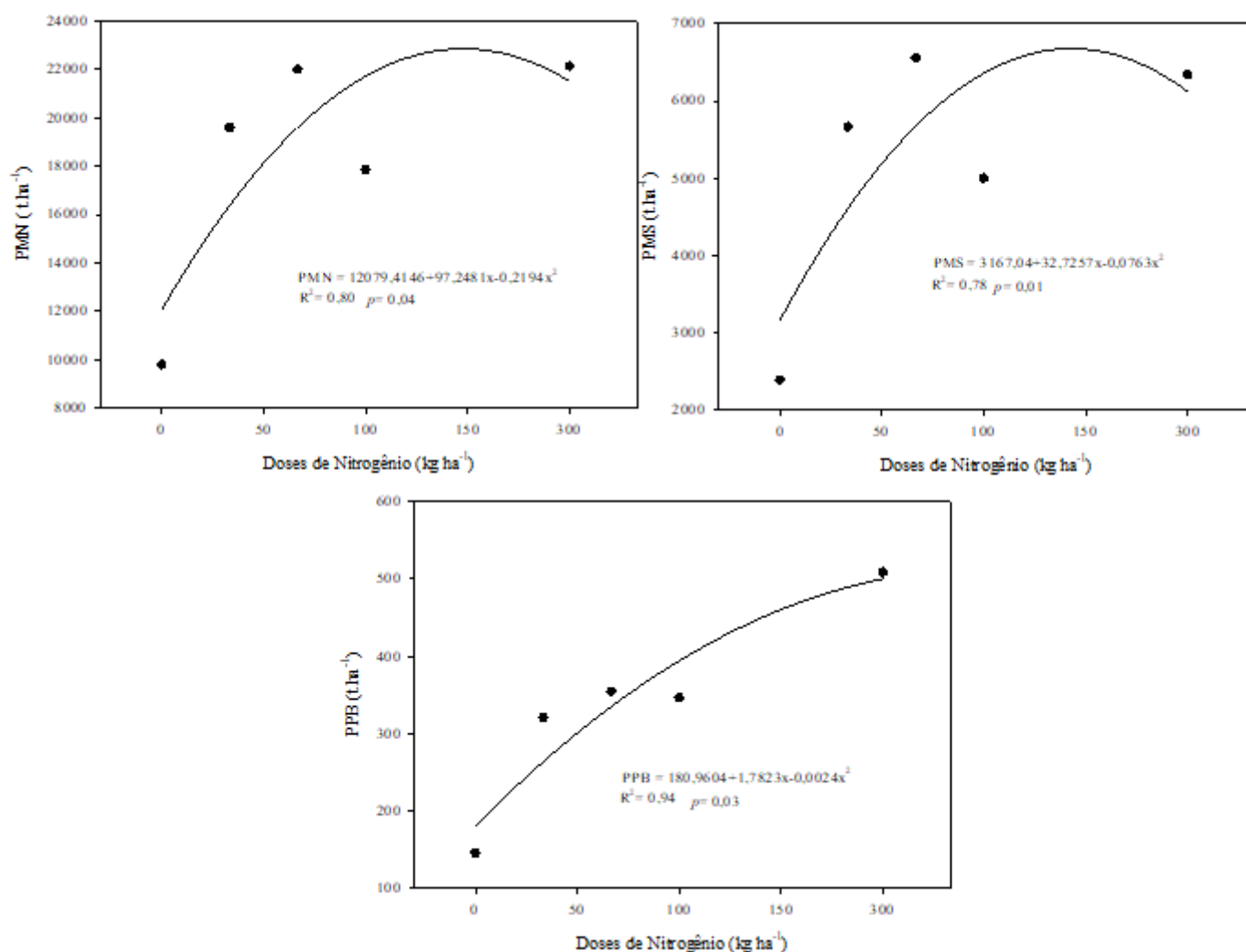


Figura 6. Produção de matéria natural (PMN), produção de matéria seca (PMS) e produção de proteína bruta (PPB), do sorgo SF-15 adubado com doses crescentes de N associado ou não ao Mo, cultivado em condições de déficit hídrico no semiárido de PE.

4.3 Componentes bromatológicos

No tratamento ciclo, a Proteína Bruta (PB) apresentou redução significativa nos ciclos de rebrota, com um decréscimo de 11,3% na rebrota 1 ($p=0,00$, Tabela 4) e 13,2% na rebrota 2 ($p=0,00$, Tabela 4), em comparação ao ciclo planta. A matéria seca (MS) atingiu o maior valor na rebrota 1, com um aumento significativo de 14,08% ($p=0,00$, Tabela 4) em relação ao ciclo planta e 11,55% comparado à rebrota 2 ($p=0,00$, Tabela 4). A Fibra em Detergente Neutro (FDN) também foi influenciada pelo fator ciclo, com o valor mais elevado na rebrota 1, apresentando um incremento de 2,61% ($p=0,03$, Tabela 4) em comparação ao ciclo planta, enquanto a rebrota 2 manteve valores semelhantes ao ciclo planta. A Matéria Mineral (MM) diminuiu significativamente ao longo dos ciclos, com a menor MM registrada na rebrota 2, com reduções de 15,54% ($p=0,00$, Tabela 4) e

10,02% ($p=0,00$, Tabela 4) em comparação aos ciclos planta e rebrota 1, respectivamente. Já a Matéria Orgânica (MO) foi maior na rebrota 2, apresentando um aumento significativo de 1,18% ($p=0,00$, Tabela 4) e 0,73% ($p=0,00$, Tabela 4) em comparação aos ciclos planta e rebrota 1, respectivamente.

Na interação ciclo *versus* N, foi constatada diferença significativa para as variáveis PB, MS, FDN e MO. Para a variável PB, constatou-se maiores incrementos nas interações ciclo Planta e dose de 300 kg ha⁻¹ de N, na rebrota 1 e doses 300 kg ha⁻¹ de N e rebrota 2 e ausência de N, com valores de 9,37% ($p=0,03$, Tabela 4), 8,37% ($p=0,03$, Tabela 4) e 8,0 % ($p=0,03$, Tabela 4), respectivamente. Os maiores valores obtidos pela MS ocorreram na interação ciclo planta e doses 50 kg ha⁻¹ de N, rebrota 1 e doses 100 kg ha⁻¹ de N e rebrota 2 e doses 50 kg ha⁻¹ de N, com valores de 28,87% ($p=0,03$, Tabela 4), 32,25% ($p=0,03$, Tabela 4) e 28,50% ($p=0,03$, Tabela 4), respectivamente. A variável MO também logrou maiores valores nessas interações, resultando em valores como, 93,12% ($p=0,03$, Tabela 4), 94, 60% ($p=0,03$, Tabela 4) e 94,87% ($p=0,03$, Tabela 4). Quanto a FDN, obteve maiores valores na interação ciclo planta e dose 0 Kg ha⁻¹ com 67,00 % ($p=0,00$, Tabela 4), na interação rebrota 1 e dose 0 Kg ha⁻¹ com 71,37 % ($p=0,00$, Tabela 4) e na interação rebrota 2 e dose 100 Kg ha⁻¹ com 68,00 % ($p=0,00$, Tabela 4).

No fator ciclo *versus* Mo, constatou-se diferença significativa para as variáveis PB e MS, onde o ciclo planta e ausência de Mo proporcionaram maior valor para PB 7,10% ($p=0,03$, Tabela 4) em relação a rebrota 1 e 2 e presença e/ou ausência de Mo, enquanto a variável MS logrou maior valor 30,30% ($p=0,03$, Tabela 4) na interação rebrota 1 e presença de Mo (160 g ha⁻¹).

Tabela 4. Componentes bromatológicos do sorgo SF-15 adubado com doses crescentes de N associado ou não ao Mo, cultivado em condições de déficit hídrico no semiárido de PE.

Ciclos		PB (%)	MS (%)	FDN (%)	MM (%)	MO (%)
Planta		7,07a	26,25c	66,22b	6,95a	93,05c
Rebrota 1		6,27b	29,95a	67,95a	6,52b	93,47b
Rebrota 2		6,10b	26,85b	66,42b	5,87c	94,15a
CV (%)		12,15	3,33	4,68	7,37	10,51
<i>p</i>		0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
Ciclo x N (Kg ha ⁻¹)		PB (%)	MS (%)	FDN (%)		MO (%)
Planta	0	6,12bCD	26,50abA	67,00aA		93,00bA
Planta	50	6,75aBC	26,87aA	66,00bA		93,12aA

Planta	100	5,50abD	26,50abA	66,75abA	93,12aA
Planta	150	7,62aB	25,50bA	65,25cA	93,12aA
Planta	300	9,37aA	25,87abA	66,12bA	92,87cA
Rebrota 1	0	4,62cD	24,00cA	71,37aA	92,25bC
Rebrota 1	50	5,37bCD	30,62bA	68,37bAB	93,25bB
Rebrota 1	100	5,87bC	32,25aA	68,75abA	94,60aA
Rebrota 1	150	7,12abB	31,25abA	64,12cB	93,75bB
Rebrota 1	300	8,37aA	31,62abA	67,12cAB	93,50bB
Rebrota 2	0	8,00aA	22,75cA	63,37cB	92,25bB
Rebrota 2	50	5,12cC	28,50aA	66,25bAB	94,62aA
Rebrota 2	100	4,75cC	28,37aA	68,00aA	94,50aA
Rebrota 2	150	6,25bB	26,37bA	67,87aAB	94,50aA
Rebrota 2	300	6,37bB	28,25aA	66,62bAB	94,87aA
CV (%)		12,15	3,33	4,86	10,51
<i>p</i>		0,00	0,00	0,00	0,00
Ciclo x Mo (g ha ⁻¹)		PB (%)		MS (%)	
Planta	0	7,10aA		26,85bA	
Planta	160	7,05aA		25,65cB	
Rebrota 1	0	6,35bA		29,60aB	
Rebrota 1	160	6,20bA		30,30aA	
Rebrota 2	0	5,90bA		27,05bA	
Rebrota 2	160	6,30bA		26,65bA	
CV (%)		12,15		3,33	
<i>p</i>		0,00		0,00	
N (kg ha ⁻¹) x Mo (g ha ⁻¹)		PB (%)	MS (%)	FDN (%)	MM (%)
0	0	6,25bcA	25,25cA	68,83aA	7,58aA
50	0	5,75cA	29,33aA	67,91abA	6,25bA
100	0	5,50cA	28,58abB	68,08abA	6,00bA
150	0	6,75bA	28,08bA	65,58abA	6,25bA
300	0	8,00aA	28,91abA	65,0bB	6,33bA
0	160	6,25bA	24,58cA	65,66aB	7,50aA
50	160	5,75bcA	28,00bA	65,83aA	6,41bA
100	160	5,25cA	29,50aA	67,58aA	5,83cA

150	160	7,25aA	27,33bB	65,91aA	6,16bcA
300	160	8,08aA	28,25bA	68,25aA	6,16bcA
CV (%)		12,15	3,33	4,86	7,37
<i>p</i>		0,00	0,00	0,01	0,00
C x N x Mo		PB (%)		MS (%)	
Planta	0 0	6,25bBCa		26,00aAa	
Planta	50 0	7,00aBCa		27,75bAa	
Planta	100 0	5,75aCa		26,75bAa	
Planta	150 0	7,50aABa		27,75bAa	
Planta	300 0	9,00aAa		26,00cAa	
Planta	0 160	6,00bCa		27,00aAa	
Planta	50 160	6,50aBCa		26,00cAa	
Planta	100 160	5,25aCa		26,25cAa	
Planta	150 160	7,75aBa		23,25cBb	
Planta	300 160	9,75aAa		25,75bAa	
Rebrota 1	0 0	4,25cCa		23,25bBb	
Rebrota 1	50 0	5,50bBCa		31,00aAa	
Rebrota 1	100 0	6,00aBa		32,00aAa	
Rebrota 1	150 0	7,00abBa		30,50aAb	
Rebrota 1	300 0	9,00aAa		31,25aAa	
Rebrota 1	0 160	5,00bCa		24,75bCa	
Rebrota 1	50 160	5,25aCa		30,25aBa	
Rebrota 1	100 160	5,75aBCa		32,50aAa	
Rebrota 1	150 160	7,25aABa		32,00aABa	
Rebrota 1	300 160	7,75bAb		32,00aABa	
Rebrota 2	0 0	8,25aAa		23,50bCa	
Rebrota 2	50 0	4,75bBa		29,25bAa	
Rebrota 2	100 0	4,75aBa		27,00bBb	
Rebrota 2	150 0	5,75bBa		26,00cBa	
Rebrota 2	300 0	6,00bBa		29,50bAa	
Rebrota 2	0 160	7,75aAa		22,00cCb	
Rebrota 2	50 160	5,50aCa		27,75bBb	
Rebrota 2	100 160	4,75aCa		29,75bAa	

Rebrota 2	150	160	6,75aABa	26,75bBa
Rebrota 2	300	160	6,75bABb	27,00bBb
CV (%)			12,15	3,33
<i>p</i>			0,00	0,00

PB= Proteína bruta; MS= matéria seca; FDN= Fibra em Detergente Neutro; MM= Matéria mineral; MO= Matéria orgânica. Nas interações Ciclo $\times$ N, letra minúscula se remete aos ciclos e maiúscula as doses de N; Ciclo $\times$ Mo, letra minúscula se remete aos ciclos e maiúscula as doses de Mo; N $\times$ Mo, letra minúscula se remete aos ciclos e maiúscula as doses de Mo; C $\times$ N $\times$ Mo, letra minúscula se remete aos ciclos, letra minúscula em itálico as doses de N e maiúscula as doses de Mo. Médias seguida da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Na interação doses de N *versus* Mo constatou-se diferença significativa para as variáveis PB, MS, FDN e MM. Quando comparado as doses de N e ausência e/ou presença de Mo, a variável PB obteve maior valor na interação 300 kg ha⁻¹ de N e ausência de Mo (8,08%, $p=0,03$, Tabela 4), a MS na interação 100 kg ha⁻¹ de N e presença de Mo (29,50%, $p=0,03$, Tabela 4), a FDN (68,83%, $p=0,03$, Tabela 4) e MM (7,58%, $p=0,03$, Tabela 4) na interação 0 kg ha⁻¹ de N e ausência de Mo. Já na interação tripla, ciclo *versus* doses de N *versus* presença e ausência de Mo, as variáveis PB e MS foram influenciadas, onde o maior valor de PB (9,75%, $p=0,00$, Tabela 4) ocorreu no ciclo planta na dose 300 kg ha⁻¹ de N e presença de Mo, enquanto o maior valor de MS (32,00%, $p=0,00$, Tabela 4) ocorreu no ciclo rebrota 1 na dose 100 kg ha⁻¹ de N e ausência de Mo.

No tratamento doses de nitrogênio (N), constatou-se diferença significativa para as variáveis MM, MO, PB e MS. Para a MM, ocorreu uma redução significativa à medida em que se elevou as doses de N ($p= 0,00$, Figura 7) atingindo o valor mínimo próximo a 150 kg ha⁻¹, seguido por um ligeiro aumento na dose de 300 kg ha⁻¹ N. A variável MO apresentou um aumento inicial à medida que as doses de nitrogênio foram elevadas, atingindo um pico em torno de 150 kg ha⁻¹ N. Após esse ponto, essa variável começou a diminuir com o aumento adicional das doses, particularmente na dose mais alta de 300 kg ha⁻¹ N ($p= 0,00$, Figura 7). A variável PB mostrou uma tendência de aumento progressivo em resposta às doses crescentes de N. Nos níveis mais baixos de N, os valores de PB eram menores, mas com o aumento das doses, observou-se um crescimento constante, culminando em incrementos de aproximadamente 20% em comparação ao controle ($p= 0,00$, Figura 7).

A variável MS apresentou uma resposta inicialmente crescente com o aumento das doses de N, atingindo seu pico em torno da dose de 100 kg ha⁻¹ N. Após esse ponto, a MS começou a diminuir ligeiramente com o aumento adicional das doses de N, especialmente na dose de 300 kg ha⁻¹. Ao comparar os valores de MS na dose mínima com a dose máxima de N, observa-se um incremento de aproximadamente 11% ($p= 0,00$, Figura 7).

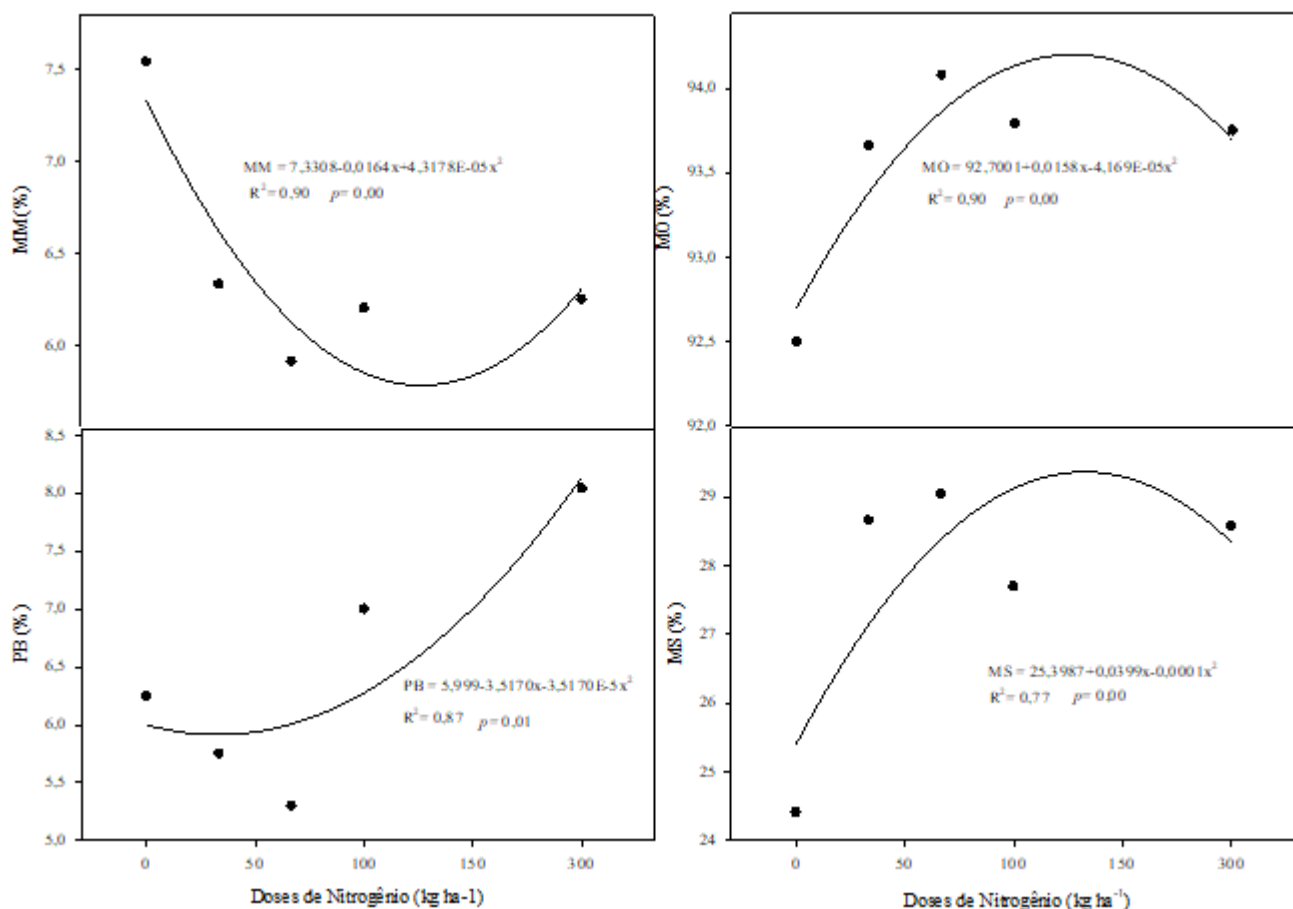


Figura 7. Material mineral (MM), Matéria orgânica (MO), Proteína Bruta (PB) e matéria seca (MS) do sorgo SF-15 adubado com doses crescentes de N associado ou não ao Mo, cultivado em condições de déficit hídrico no semiárido de PE.

4.4 Relação entre as variáveis analisadas e o manejo da fertilização com nitrogênio e molibdênio em ciclos consecutivos do sorgo forrageiro submetido a deficit hídrico

A Análise de Componentes Principais (PCA) representada no gráfico considera três fatores principais, o ciclo, as doses de nitrogênio e a ausência ou presença de molibdênio. Esses fatores estão relacionados às observações em um espaço bidimensional formado pelos dois primeiros componentes principais, PC1 e PC2, que explicam 38,41% e 15,33% da variância total dos dados, respectivamente.

As variáveis projetadas como NFM, MS, e FDN têm vetores longos, isso sugere que elas têm uma contribuição significativa para os componentes principais, logo a proximidade entre as variáveis indica que elas estão correlacionadas, NFM e MS estão próximas e apontam em uma direção similar, sugerindo uma correlação positiva entre elas. É possível observar relações inversamente proporcionais as variáveis MM e PMN, MO, além de FDN e LMP, EC visto que seus autovetores estão em direções opostas, o que sugere relação inversa.

Os diferentes níveis de nitrogênio com maior nível (círculos maiores) parecem estar distribuídos principalmente no quadrante superior direito, sugerindo que esses níveis estão associados a características refletidas por PC1 e PC2. Observações com níveis baixos de Nitrogênio estão espalhadas por outros quadrantes, indicando uma menor correlação com as variáveis representadas por esses componentes. Os tamanhos dos símbolos refletem os níveis de Molibdênio. Os círculos maiores, indicando concentrações mais altas, estão espalhados principalmente à direita do gráfico, o que sugere que as doses de Molibdênio podem estar relacionadas às variáveis que têm maior influência em PC1.

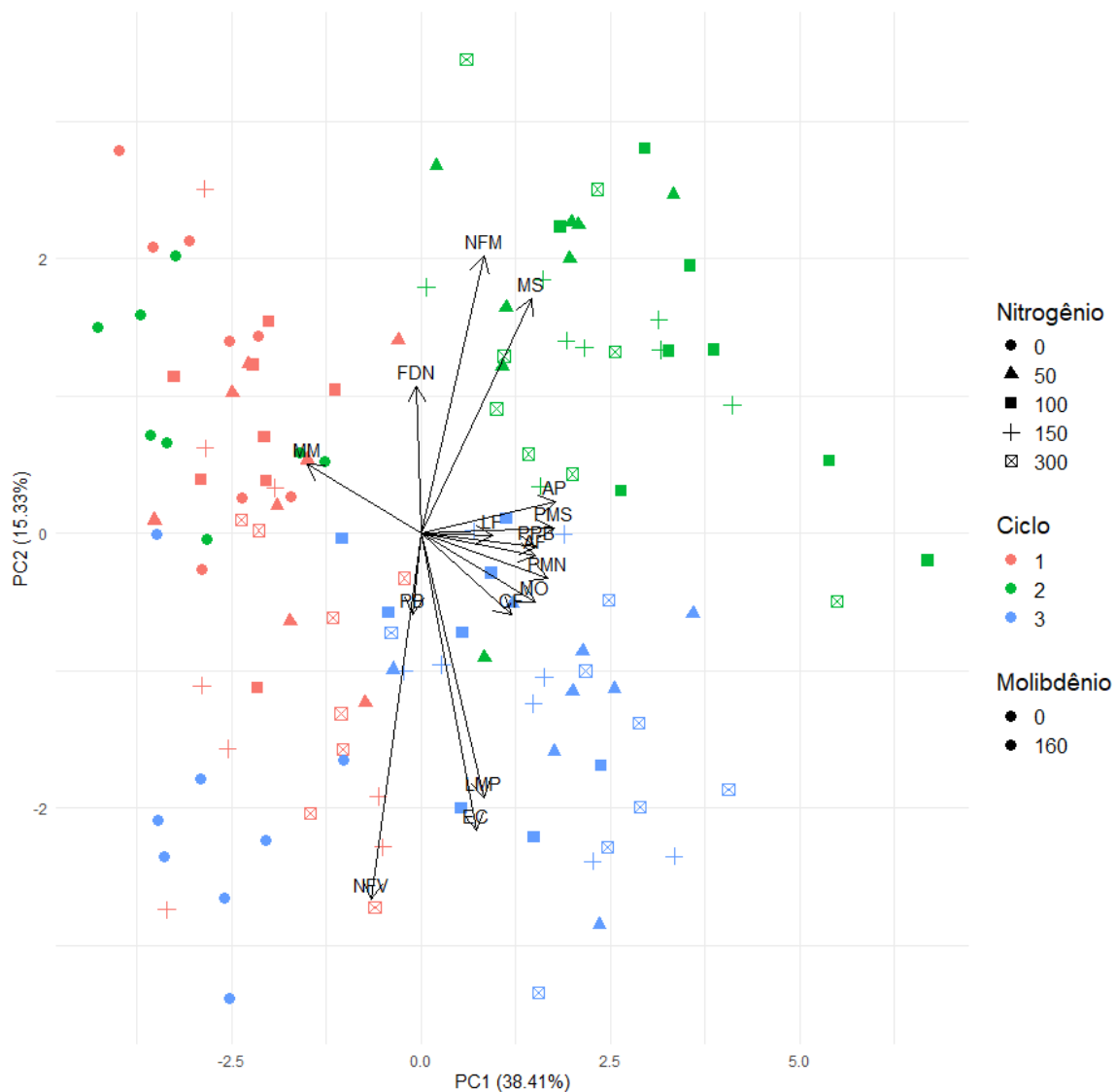


Figura 8. Representação gráfica da relação entre as variáveis biométricas (AP, LMP, EC, NFV, NFM, CF, LF, AF), Bromatologia (PB, FDN, MS, MM, MO) e produtividade (PMN, PMS, PPB) do sorgo SF-15 adubado com doses crescentes de N associado ou não ao Mo, cultivado em três ciclos consecutivos em condições de déficit hídrico no semiárido de PE

5. DISCUSSÃO

5.1 As características morfométricas do sorgo são influenciadas por ciclos consecutivos, doses de nitrogênio, e molibdênio

Os resultados positivos nos ciclos finais (ciclo rebrota 1 e 2) para as variáveis morfométricas (AP, LMP, EC, CF, LF, AF, NFV e NFM), bem como a adição de doses N e presença de Mo, podem estar diretamente relacionadas com as condições climáticas favoráveis que ocorreram nos ciclos finais. O período chuvoso se concentrou no início do ciclo rebrota 1 e continuou durante o ciclo 2, ocasionando numa maior disponibilidade hídrica para o sorgo, e consequentemente uma diluição dos sais da água utilizada para irrigação que ficam acumulados no solo.

As variáveis morfométricas, estão relacionadas entre si, e, principalmente com a produção de MS. Os valores encontrados no presente trabalho refletem essa relação, e comprovam que o sorgo SF-15 apresenta plantas mais altas, maior número de folhas vivas, menor número de folhas mortas e folhas mais largas quando recebe a adubação nitrogenada associada ao Mo nos ciclos finais (ciclo rebrota 1 e rebrota 2). Apresenta também, um aparato fotossintético mais eficiente, justificado em razão dos altos valores encontrados nessa pesquisa. Com todas essas características presente, a radiação incidida na planta será interceptada, favorecendo a captação de CO₂ e outros fotoassimilados, que posteriormente serão translocados por toda a planta, resultando em cerca de 90% da MS produzida (FIGUEREDO JÚNIOR et al., 2005; VIEIRA JUNIOR et al., 2006).

O incremento dessas variáveis, além da disponibilidade hídrica, pode ser explicado também pelo papel essencial do N associado ao Mo, visto que o molibdênio faz parte diretamente do metabolismo do N, integrando o complexo enzimático redutase de nitrito e nitrogenase (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). Consequentemente, o N pode afetar positivamente a cadeia transportadora de elétrons na síntese de ATP, NADPH e eficiência da carboxilação (HENRIQUE et al., 2024). Processo esse, fundamental na construção de proteínas, essenciais para o desenvolvimento dos tecidos vegetais. Assim, com disponibilidade hídrica e disponibilidade de nitrogênio, há uma melhoria na formação de aminoácidos, aumentando significativamente as variáveis de crescimento do sorgo, condição importante em áreas onde o acesso a forragem é limitado. Com isso, o sorgo SF-15 pode ser uma fonte alternativa alimentar para os animais.

5.2 As características produtivas do sorgo SF-15 são influenciadas pelo ciclo produtivo e pelo nitrogênio

Os resultados obtidos nesse estudo mostraram que o sorgo produz melhor durante a rebrota em relação ao primeiro ciclo (ciclo planta), juntamente com a adubação nitrogenada, que houve

incremento positivo na produtividade de matéria natural, matéria seca e produtividade de proteína bruta, variáveis de grande importância para a produção pecuária.

Esses resultados estão relacionados as condições climáticas e respostas fisiológicas da planta, visto que durante a condução experimental as maiores médias da temperatura do ar e maior acúmulo hídrico ocorreram durante o ciclo rebrota 1, e também a disponibilidade de N. É visto na literatura que a temperatura do ar sem restrições hídricas, influencia positivamente o desenvolvimento vegetal, afetando diretamente seu metabolismo (RODRIGUES; SOUZA; LIMA, 2013). O N é componente da molécula de clorofila, e essa é essencial durante o processo de fotossíntese, processo metabólico principal das plantas (BASI et al., 2011). Logo, em condições edafoclimáticas favoráveis, as plantas tendem a expressar seu potencial produtivo. As maiores produtividades (31 t ha⁻¹ matéria natural e 10 t ha⁻¹ matéria seca) obtida nesse estudo, é semelhante os resultados relatados por Tabosa et al, (2012) eles obtiveram (28 t ha⁻¹ matéria natural e 11 t ha⁻¹ matéria seca) com mesma cultivar (SF-15) e clima semelhante.

As respostas crescentes da PPB em relação as doses de N, podem estar relacionadas principalmente com o conteúdo nitrogenado disponibilizados para as plantas, que fica disponíveis para serem utilizados na combinação do esqueleto carbônico, realizando a produção de aminoácidos que resultam em proteínas (TAIZ et al., 2017). O acúmulo de N no sorgo é variável, sendo a maior parte acumulada na panícula, entretanto, diferente de plantas como a do milho, o sorgo não cessa seu acúmulo de N até ser colhido (SOARES et al., 2013).

5.3 Os componentes bromatológicos são influenciados positivamente pelo ciclo, nitrogênio e pelo molibdênio

Os componentes bromatológicos compõem principalmente a parte nutritiva da planta, e o presente estudo comprovou respostas positivas para as variáveis em termo de ciclos, adubação com N, e presença ou ausência de Mo. Os resultados encontrados nesse estudo mostram que para variável PB, o ciclo planta com a adição de N e ausência de Mo foi o melhor. Já as variáveis MS, FDN, MM e MO, os melhores teores foram obtidos nos ciclos posteriores (ciclos rebrota 1 e 2), juntamente com a adição do N e ausência de Mo, com exceção da variável FDN que a presença de Mo diminui seus teores, evidenciando o excelente valor nutritivo do sorgo SF-15.

Além da adubação com N e Mo, a época de colheita pode ter contribuído para esses resultados, visto que a produção de nutrientes tende a aumentar de forma significativa ao longo do desenvolvimento da planta, em virtude da translocação de nutrientes até a panícula (MACEDO et al., 2012). Isso justifica o fato dos teores de proteína terem sido melhores no ciclo planta, pois foi o ciclo mais longo (duração de 108 dias, enquanto os demais foram 90 e 99 dias), e por ter ocorrido em

um período crítico devido as condições climáticas para o sorgo, essa limitação levou a um menor acúmulo de biomassa, e consequentemente maior acúmulo do teor de PB na planta.

A proteína bruta é um fator importante para diminuir os custos da produção animal, visto que quanto maior o valor nutritivo das forragens menores são os custos com a suplementação (BUSO et al., 2011). O valor nutritivo da forragem depende principalmente dos teores de PB para elevar sua qualidade, promovendo ganho de peso rápido e elevação na produção de leite (KAPLAN et al., 2019; TANG et al., 2018). O que nesse caso, os teores de PB foram elevados, indicando que o sorgo SF-15 pode ser ofertado para animais ruminantes.

Os demais nutrientes foram aumentados pelo incremento da produção de MS que ocorreu no ciclo rebrota 1 e 2 sob condições climáticas e nutricionais adequadas. A adubação com N foi essencial nos dois cenários climáticos.

As condições desfavoráveis no ciclo planta foi atenuada pela adubação nitrogenada, visto que o N é capaz de atuar no metabolismo da planta, disponibilizando aminoácidos como a prolina, essa aumenta a atividade de enzimas antioxidantes e elimina radicais livres, estabiliza proteínas, membranas e estruturas subcelulares e protege funções celulares eliminando EROS (REDDY et al., 2015). Nas condições favoráveis, o N ficou disponível para ser utilizado pela planta principalmente para a produção de MS, o que justifica o aumento nos teores dos nutrientes nos ciclos rebrota 1 e 2.

Os teores de MS e MO estão relacionados com o conteúdo nutricional do alimento, como a quantidade de carboidratos, lipídios, proteína e minerais, sendo o valor da MS de grande importância para a formulação de dietas (LIMA et al., 2023; ROCHA et al., 2014).

Por outro lado, os teores de MM representam a parte inorgânica do vegetal, e é inversamente proporcional aos teores de MO. Os resultados obtidos nesse estudo, evidenciaram que a adubação nitrogenada diminuiu os teores de MM. Esse é um ganho positivo no valor nutritivo da forragem, visto que quanto menor os teores de MM, maiores serão os teores dos nutrientes na planta. (ANFINRUD et al., 2013).

O teor de FDN está relacionado de forma negativa com a digestibilidade do alimento e pode interferir no seu consumo, uma vez que ele representa a fração fibrosa do alimento (MACEDO et al., 2012). Os resultados encontrados nesse trabalho, mostraram que a adubação com N associada ao Mo em rebrota, é capaz de diminuir os teores de FDN presente no sorgo SF-15 evidenciando as características nutritivas para o consumo de animais herbívoros.

6. CONCLUSÃO

Neste estudo, foi avaliado a interação entre o Nitrogênio e o Molibdênio nos componentes, estruturais, produtivos e bromatológicos do sorgo forrageiro SF-15, cultivado em ambiente semiárido,

pressupondo a eficiência na utilização do N pela planta, e ficou comprovado que existe ação sinérgica entre o nitrogênio e o molibdênio para os componentes estruturais e bromatológicos que foram estudadas. Dessa forma, recomenda-se o uso da adubação nitrogenada de 100 kg ha^{-1} de N para uma produção média de 10 t ha^{-1} de MS, para promover a produção de forragem e aumentar o aporte de nutrientes no sorgo SF-15.

REFERÊNCIAS

- AHMED, S. O. et al. Nutritional quality of grains of sorghum cultivar grown under different levels of micronutrients fertilization. **Food Chemistry**, v. 159, p. 374–380, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.033>
- ALHAMMAD, B., et al., Optimizing Productivity of Buffel and Sudan Grasses Using Optimal Nitrogen Fertilizer Application under Arid Conditions. **Agronomy**, v. 13, n. 8, p. 2146, 2023. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082146>.
- AKIN, D. E. Histological and Physical Factors Affecting Digestibility of Forages. **Agronomy Journal**, v. 81, n. 1, p. 17–25, 1989. <https://doi.org/10.2134/agronj1989.00021962008100010004x>
- ALAM, F. et al. Effect of molybdenum on nodulation, plant yield and nitrogen uptake in hairy vetch (*Vicia villosa* Roth). **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 61, n. 4, p. 664–675, 2015. <http://dx.doi.org/10.1080/00380768.2015.1030690>
- ALBINO, U. B.; CAMPO, R. J. Efeito de fontes e doses de molibdênio na sobrevivência do *Bradyrhizobium* e na fixação biológica de nitrogênio em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 527–534, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2001000300018>
- ALLEN, R. G. et al. Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and drainage paper**, v. 56, n. 9, p. 300–1998, 1998.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVES, C. P. et al. How to enhance the agronomic performance of cactus-sorghum intercropped system: planting configurations, density and orientation. **Industrial Crops and Products**, v. 184, n. May, 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115059>
- ANFINRUD, R. et al. Sorghum and kenaf biomass yield and quality response to nitrogen fertilization in the Northern Great Plains of the USA. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 159–165, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.022>

BARBERO, L. M. et al. Produção animal e valor nutritivo da forragem de pastagem de coastcross consorciada com amendoim forrageiro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, n. 3, p. 645–653, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-09352010000300021>

BASI, S. et al. Influência da adubação nitrogenada sobre a qualidade da silagem de milho. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, n. 3, p. 219-234, 2011, <https://doi.org/10.5777/paet.v4i3.1433>

BOBOKULOV, N. et al., (2021). Nutritional And Energy Value Of Non-Traditional Forage Plants For Cultivation In The Arid Zone Of Uzbekistan. **Revista Internacional de Ciências e Tecnologias Progrbassivas**, v. 27, n. 1, p. 237-242, 2021. <https://doi.org/10.52155/IJPSAT.V27.1.3210>

BOUIMETARHAN, I. et al., Intermittent development of forest corridors in northeastern Brazil during the last deglaciation: Climatic and ecologic evidence. **Quaternary Science Reviews**, v.142, p. 86-96, 2018. <https://doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2018.05.026>

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciencia Rural**, v. 30, n. 2, p. 365–372, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-847820000000200029>

BUSO, W. H. D. et al. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. **Pubvet**, v. 5, n. 23, 2011. <http://dx.doi.org/10.22256/pubvet.v5n23.1145>

CIRINO JÚNIOR, B. et al. Utilização de molibdênio no consórcio sorgo e feijão-caupí irrigado em ambiente semiárido. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 6, n. 2, p. 1838–1852, 2023. <http://dx.doi.org/10.34188/bjaerv6n2-070>

COELHO, D. T.; DALE, R. F. An Energy-Crop Growth Variable and Temperature Function for Predicting Corn Growth and Development: Planting to Silking 1. **Agronomy Journal**, v. 72, n. 3, p. 503–510, 1980. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1980.00021962007200030023x>

COÊLHO, J. D. Produção de grãos: feijão, milho e soja. **Caderno Setorial ETENE**, v. 3, n. 51, p. 113, 2020.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, v. 8, n. e, p. 1–108, 2021.

CORRÊA, A. et al., The Semi-arid Domain of the Northeast of Brazil. In book: **The Physical Geography of Brazil**. p.119-150, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04333-9_7

DETMAN, E. et al. **Métodos para análise de alimentos**. 2ª edição ed. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 2021.

FENETAHUN, Y.; Xu, X.; Wang, Y. Forage composition, biomass and carrying capacity dynamics in yabello rangeland, southern ethiopia using different grazing sites. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 18, p. 7233-7253, 2020. https://doi.org/10.15666/aeer/1805_72337253

FERREIRA, A. C. D. B. et al. Características Agronômicas E Nutricionais Do Milho Adubado Com Nitrogênio, Molibdênio E Zinco Corn Crop Characteristics Under Nitrogen, Molybdenum and Zinc Fertilization. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 131–138, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162001000100020>

FERNANDES, M.; CARDOSO, D.; QUEIROZ, L. An updated plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemism. **Journal of Arid Environments**, v. 174, p. 104079, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.104079>.

FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. et al. Modelo para Estimativa do Índice de Área Foliar da Cultura de Milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 1, p. 8–13, 2005. <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v4n1p8-13>

FOLONI, J. S. S. et al. Rebrotas de soqueiras de sorgo em função da altura de corte e da adubação nitrogenada. **Ceres**, v.55, n. 2, p. 102-108, 2008.

FRAGOSO, R. et al., Brushwood and artificial perch did not facilitate forest regeneration in *Urochloa* spp. grassland. **Brazilian Journal of Botany**, n. 43, p. 155-163, 2020. <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00579-7>.

GADALLAH, F. M. et al. Nitrogen-molybdenum-manganese co-fertilization reduces nitrate accumulation and enhances spinach (*Spinacia oleracea* L.) yield and its quality. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, n. 4, p. 2238–2246, 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.11.036>

GUIMARÃES, D. P. et al. Estimativa da Área Foliar de Cultivares de Milho. **XXIV Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, n. 1997, p. 96, 2002.

SOARES, E. R. et al. Acúmulo de matéria seca e macronutrientes por cultivares de sorgo sacarino. **XXXIV Congresso brasileiro de ciencias do solo**. 2013.

HENRIQUE, J. C. G. DE S. et al. Nitrogen and molybdenum fertilization influence on enzymatic activity and productivity enhancement of forage sorghum under water deficit in the Brazilian semi-arid region. **Journal of Plant Nutrition**, v. 47, n. 15, p. 2543–2570, 2024. <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2024.2354197>

JARDIM, A. et al., Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. **Journal of Arid Environments**, v. 188, p. 104464, 2021. <https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2021.104464>

KAISER, B. N. et al. The role of molybdenum in agricultural plant production. **Annals of Botany**, v. 96, n. 5, p. 745–754, 2005. <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mci226>

KAPLAN, M. et al. Water deficit and nitrogen affects yield and feed value of sorghum sudangrass silage. **Agricultural Water Management**, v. 218, n. March, p. 30–36, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.021>

LACERDA, E. G. et al. Adubação nitrogenada no vigor das mudas, concentração de aminoácidos e proteínas totais e no teor de clorofila no feijão-de-corda (*Vigna Unguiculata*). **Agri-Environmental Sciences**, v. 6, p. 11, 2019. <http://dx.doi.org/10.36725/agries.v6i0.1413>

LEDRU, M. et al., When archives are missing, deciphering the effects of public policies and climate variability on the Brazilian semi-arid region using sediment core studies. **The Science of the total environment**, v. 723, p. 137989, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137989>

LIMA, N. V. DE et al. Bromatologia da matéria seca, orgânica e mineral, proteína bruta, extrato etéreo e nutrientes digestíveis totais de espécies forrageiras da caatinga preferíveis por ovinos em clima semiárido. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 5, n. 4, p. 1–23, 2023.

MACEDO, C. H. O. et al. Produção e Composição Bromatológica do Sorgo (*Sorghum Bicolor*) Cultivado Sob Doses de Nitrogênio. **Archivos de Zootecnia**, v. 61, n. 234, p. 209–216, 2012. <http://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922012000200005>

MARENGO, J.; Bernasconi, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, n. 129, p. 103-115, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1>

MGANGA, K. et al., Forage value of vegetative leaf and stem biomass fractions of selected grasses indigenous to African rangelands. **Animal Production Science**. v. 61, p. 1476–1483, 2021 <https://doi.org/10.1071/AN19597>

MONKHAN, T.; CHEN, X.; SOMTA, P. BADH1 is associated with fragrance in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivar ‘Ambemohor’. **Journal of Genetics**, v. 100, n. 1, 2021. <http://dx.doi.org/10.1007/s12041-020-01256-0>

MOURA, et al., Composição bromatológica de genótipos de silagens de sorgo. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v. 38, n. 4, p. 369-373, 2016. <http://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v38i4.31810>

NUNES, J. D. S. L. et al. Morfogênese da palma forrageira sob modificação do ambiente de crescimento. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, p. 367–375, 2020. <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26449>

OLIVEIRA, L. B. DE; MACÊDO, A. J. DA S.; SANTOS, E. M. Interação Entre Espécies Forrageiras Nativas E Cultivadas Em Condições De Semiárido. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 22, n. 4, p. 127–138, 2019. <https://doi.org/10.25110/arqvet.v22i4.2019.6949>

OLIVEIRA, S. L. et al. Molybdenum Foliar Fertilization Improves Photosynthetic Metabolism and Grain Yields of Field-Grown Soybean and Maize. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, n. May, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.887682>

ORESCA, D. et al. Agronomic performance of forage sorghum and millet grown under irrigation with saline water and nitrogen doses in the Brazilian semi-arid. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18976>

PERAZZO, A. F. et al. Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Ciencia Rural**, v. 43, n. 10, p. 1771–1776, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013001000007>

PINO, F.; HEINRICHS, A. J. Sorghum forage in precision-fed dairy heifer diets. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 1, p. 224–235, 2017. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2016-11551>

PUNIA, H. et al. Discerning morpho-physiological and quality traits contributing to salinity tolerance acquisition in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **South African Journal of Botany**, v. 140, p. 409–418, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2020.09.036>

QUEIROZ, V. A. V. et al. Nutritional composition of sorghum [*sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes cultivated without and with water stress. **Journal of Cereal Science**, v. 65, p. 103–111, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2015.06.018>

REDDY, P. S. et al. Proline over-accumulation alleviates salt stress and protects photosynthetic and antioxidant enzyme activities in transgenic sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 94, p. 104–113, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.05.014>

REN, H., et al., Forage nutritional characteristics and yield dynamics in a grazed semiarid steppe ecosystem of Inner Mongolia, China. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 460–469, 2016. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2015.07.027>

ROCHA, J. E. DA S. et al. Produtividade e composição bromatológica de híbridos de sorgo cultivados em sistema agrossilvipastoril no semiárido. In: **congresso nordestino de produção animal**, n. 482, p. 482–484, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000100017>

RODRIGUES, J. C.; SOUZA de, P. J. O.; LIMA, R. T. Estimativa de temperaturas basais e exigência

térmica em mangueiras no nordeste do estado do Pará. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 35, n. 1, p. 143-150, 2013.

RUIZ-GIRALT, A., et al., Small-scale farming in drylands: New models for resilient practices of millet and sorghum cultivation. **PLOS ONE**, v. 18, n. 2, p. 17, 2023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268120>

SAMPAIO, R. et al., The nutritional interrelationship between the growing and finishing phases in crossbred cattle raised in a tropical system. **Tropical Animal Health and Production**, v. 49, p. 1015 - 1024, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1294-8>

SANTIN, T. P. et al. Características Fermentativas E Composição Química Da Silagem De Sorgo (Sorghum Bicolor) Com Uso De Aditivos Absorventes. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 54931–54943, 2020. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n8-057>

SANTOS, G. C. et al. Crescimento e eficiência do uso da água do sorgo sob distintos regimes hídricos contínuos. **Archivos de Zootecnia**, v. 69, n. 266, p. 164–171, 2019. <https://doi.org/10.21071/az.v69i266.5111>

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: 2018, 2018.

SCHULZ, K., et al. Grazing reduces plant species diversity of Caatinga dry forests in northeastern Brazil. **Applied Vegetation Science**, v. 22, n. 2, p. 348-359, 2019. <https://doi.org/10.1111/AVSC.12434>

SHAMME, S. K.; RAGHAVAIAH, C. V; HAMZA, T. B. AND I. Sorghum (Sorghum bicolor L.) Growth, Productivity, Nitrogen Removal, N- Use Efficiencies and Economics in Relation to Genotypes and Nitrogen Nutrition in Kellem- Wollega Zone of Ethiopia, East Africa. **Advances in Crop Science and Technology**, v. 04, n. 03, p. 3–10, 2016. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000218>

SILVA, A. DE S. et al. **Semiárido Brasileiro: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação**. Petrolina, PE: 2010, 2010.

SILVA, D. F. DA et al. Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e12310313172, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13172>

SILVA, V. J. DA et al. Características desejáveis em plantas forrageiras. In: SANTOS, M. V. F. DOS; NEIVA, J. N. M. (Eds.). **Culturas Forrageiras no Brasil : uso e perspectivas**. 1. ed. Visconde do Rio Branco, MG: Seprema gráfica, 2022. p. 12.

SILVA, H. W. et al. Produtividade de sorgo forrageiro em função do intervalo de corte e da rebrota. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 14441–14450, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-349>

SILVA, T. et al., Profitability of using irrigation in forage cactus-sorghum intercropping for farmers in semi-arid environment. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 22, n. 2, p. 132-139 , 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n2p132-139>.

SOUZA, L. DE P. et al. Produção de porta-enxerto de goiabeira cultivado com águas de diferentes salinidades e doses de nitrogênio. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 48, n. 4, p. 596–604, 2017. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170069>

SOUZA, M., et al., Forage yield, competition and economic benefit of intercropping cactus and millet with mulch in a semi-arid environment. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 40, p. 219 - 230, 2022. <https://doi.org/10.2989/10220119.2021.2016967>.

TABOSA, A. R. M. et al. Cadernos do Semiárido riquezas & oportunidades /Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco. **Histórico E Importância Do Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 1–84, 2020.

TABOSA, N. J. et al. **TECNOLOGIAS POTENCIAIS PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVE**. 1. ed. Recife: CCS gráfica e editora, 2013.

TABOSA, J. N. et al. Genótipos de Sorgo Forrageiro no Semiárido de Pernambuco e Alagoas– Estimativas de Parâmetros Genéticos de variáveis de Produção. In: **XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO-Águas de Lindóia, São Paulo**. 2012.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. porto alegre: ARTMED EDITORA LTDA, 2017.

TANG, C. et al. Sorghum biomass and quality and soil nitrogen balance response to nitrogen rate on semiarid marginal land. **Field Crops Research**, v. 215, n. 2, p. 12-22, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.031>

TRIPATHEE, L. et al. Water-soluble organic and inorganic nitrogen in ambient aerosols over the Himalayan middle hills: Seasonality, sources, and transport pathways. **Atmospheric Research**, v. 250, n. November 2020, p. 105376, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105376>

TULU, D. et al., Contribution of Climate-Smart Forage and Fodder Production for Sustainable Livestock Production and Environment: Lessons and Challenges from Ethiopia. **Advances in Agriculture**, p. 11 2023 <https://doi.org/10.1155/2023/8067776>

UDDIN, M.; KEBREAB, E. **Review:** Impact of Food and Climate Change on Pastoral Industries. v. 4, 2020. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.543403>

UZCÁTEGUI-VARELA, J. P. et al. Nutritional assessment of tropical pastures as a sustainability strategy in dual-purpose cattle ranching in the South of Lake Maracaibo, Venezuela. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 21, p. 432–439, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.11.005>

VALENTINI, L.; COELHO, F. C.; FERREIRA, M. DOS S. Teor de nitrogênio foliar e produtividade de três cultivares de milho (*Zea mays* L.) submetidos à adubação nitrogenada e molíbdica. **Revista Ceres**, v. 52, n. 302, p. 557–577, 2005.

VASCOCELOS FILHO, A. R. B. V. et al. Composição químico-bromatológica do sorgo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 5, p. 110–124, 2010.

VIEIRA JUNIOR, P. A. et al. Metodologia para Estimativa da Área Foliar de Genótipos de Milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, n. 2, p. 182–191, 2006.

ZIMMER, W.; MENDEL, R. Molybdenum metabolism in plants. **Plant Biology**, v. 1, n. 2, p. 160–168, 1999. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v5n2p182-191>