

NÁGILA SABRINA GUEDES DA SILVA

MOLIBDÊNIO COMO ALTERNATIVA PARA MELHORAR O VALOR NUTRITIVO DO  
SORGO SOLTEIRO E CONSORCIADO COM LEGUMINOSA

Serra Talhada -PE

2022

S  
I  
L  
V  
A  
  
N  
S  
G  
  
M  
O  
L  
I  
B  
D  
Ê  
N  
I  
O  
  
C  
O  
M  
O  
  
A  
L  
T  
E  
R  
N  
A  
T  
I  
·  
·  
2  
0  
2  
2

NÁGILA SABRINA GUEDES DA SILVA

MOLIBDÊNIO COMO ALTERNATIVA PARA MELHORAR O VALOR  
NUTRITIVO DO SORGO SOLTEIRO E CONSORCIADO COM LEGUMINOSA

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

Serra Talhada -PE

2022

# FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

s202m Silva, Nágila Sabrina Guedes da  
MOLIBDÊNIO COMO ALTERNATIVA PARA MELHORAR O VALOR NUTRITIVO DO SORGO SOLTEIRO  
E CONSORCIADO COM LEGUMINOSA / Nágila Sabrina Guedes da Silva. - 2022.  
53 f.

Orientador: Evaristo Jorge Oliveira de .

Coorientador: Alexandre Campelo de .

Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal  
, Serra Talhada, 2022.

1. Alimentos Volumosos. 2. Digestibilidade. 3. Plantas Forrageiras. 4. Mineral. I. , Evaristo Jorge Oliveira de,  
orient. II. , Alexandre Campelo de, coorient. III. Título

CDD 581.15

---

NÁGILA SABRINA GUEDES DA SILVA

MOLIBDÊNIO COMO ALTERNATIVA PARA MELHORAR O VALOR  
NUTRITIVO DO SORGO SOLTEIRO E CONSORCIADO COM LEGUMINOSA

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 25/02/2022.

Banca Examinadora



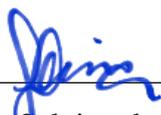
Prof. Dr. Evaristo Jorge Oliveira de Souza – UAST/UFRPE

Orientador



Prof. Dr. Alexandre Campelo de Oliveira - UAST/UFRPE

Coorientador, examinador interno



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Jucelane Salvino de Lima IFAL/Campus Batalha

Coorientadora, examinadora externa

Á Deus, o criador de tudo; Dedico à Sandra Guedes e Damiana Guedes (mães), Enzo Silva (filho), por todo o amor, por sempre me apoiarem a buscar meu crescimento profissional e por me ajudarem de todas as formas à realizar meus sonhos.

**Dedico!**

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Deus, meu guia, por me mostrar que sou protegida e iluminada, e me guiar no caminho certo a seguir, sempre! Obrigada Deus por me dar muito mais do que eu mereço!

Às minhas mães Sandra Guedes e Damiana Guedes, luz da minha vida, minhas amigas e companheiras, agradeço por todo apoio e amor incondicional. Sem vocês, certamente não teria conseguido chegar até aqui.

Às minhas irmãs Alana Guedes e Sâmila Silva, por toda admiração e muito “amor acumulado”. Ao meu irmão Alan Silva, por acreditar nos meus sonhos e fazer o possível para que eu pudesse realizar, por sempre me apoiar e por me amar tanto, e obrigado por sempre me dá e fazer tudo que eu quero.

Ao meu orientador, Prof. Evaristo Jorge, por todos os ensinamentos e auxílio para realização do trabalho, pela paciência e compreensão durante o período.

Ao pessoal da equipe, Gabriela Costa, Marcelo Lopes e Wagner Martins, pela amizade e colaboração com as atividades.

Agradeço ao professor Alexandre Campelo, pela grande contribuição desde o início deste projeto até o fim do trabalho.

Agradeço aos meus amigos, Flávia Trindade, Domingos Sávio, Pablo Almeida, Simone Andrea e Baltazar junior, por todos os momentos de descontração, coisas que tornarão o dia a dia menos complicado, agradeço por me incentivarem a não desistir, e por todo companheirismo!

Agradeço em especial a minha amiga Rhaiana Aviz, que sempre acreditou em mim e sempre me apoiou e me incentivou a nunca desistir. Que sempre me tratou como uma irmã do coração, obrigada por tanto.

Ao Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal e à Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela oportunidade de realização do mestrado em produção vegetal, e por toda a estrutura de aprendizado que possibilitou minha boa formação como profissional.

À FACEPE pela concessão de bolsa e recursos para realização do trabalho.

À banca examinadora pela disponibilidade em avaliar este trabalho de dissertação.

À Universidade Federal de Alagoas, pela disponibilidade dos laboratórios e ao professor Kedes Pereira pela realização das análises. Aos membros da banca examinadora, Professor. Alexandre Campelo e Professora. Jucelane Salvino, por terem

aceitado participar da banca e pelas contribuições. E a todos que contribuíram com a realização da pesquisa

## RESUMO

O período de escassez de alimentos, ocasionado por mudanças climáticas é um dos maiores entraves na produção de forragem destinado à alimentação de ruminantes, visto que, causam flutuações no desenvolvimento e disponibilidade das plantas gramíneas forrageiras e impacta na pecuária do semiárido. Objetivou-se avaliar a aplicação de molibdênio, via solo ou via foliar, para melhorar a composição bromatológica e digestibilidade *in situ* do sorgo solteiro e consorciado com leguminosa. A pesquisa ocorreu em duas etapas. Sendo a primeira para verificar os efeitos da adubação com molibdênio sob a composição bromatológica do sorgo solteiro ou consorciado e a segunda foi para verificar a digestibilidade *in situ* do sorgo solteiro ou consorciado recebendo ou não adubação com molibdênio. As plantas de sorgo foram cultivadas em cultivo consorciado e solteiro e dois modos de aplicação do molibdênio (folha e solo) e cultivos controle, sem a aplicação do molibdênio. O delineamento para primeiro experimento foi em blocos casualizados (DBC) com três repetições e esquema fatorial  $2 \times 2 + 2$  e o segundo experimento também foi em (DBC) porém em parcela subdividida. Para avaliação da composição bromatológica foi realizada a implantação do sorgo da cultivar IPA-467 considerando dois cortes e do feijão considerando dois ciclos. As plantas foram cultivadas em sistema consorciado e solteiro com duas formas de aplicação do molibdênio e tratamento controle sem aplicação do molibdênio. Em relação a colheita, foi realizada de forma manual com o auxílio de um facão para depois realizar a avaliação da composição bromatológica. Em relação ao segundo experimento, foi utilizado a técnica *in situ*, que consiste em incubar poucas quantidades de amostras do material vegetal no rúmen de três ovinos fistulados, em diferentes tempos de incubação para depois ser realizada a determinação da degradabilidade. Os dados foram analisados pelo *Statistical Analysis Systems*. A adubação com molibdênio promoveu aumento nos teores de proteína bruta, carboidratos totais, fração solúvel, taxa de desaparecimento, degradabilidade potencial e efetiva ( $P < 0,05$ ) do sorgo solteiro e em consorcio, independente da via de aplicação (folha ou solo) e promoveu redução da fração não degradável no rúmen ( $P < 0,05$ ). Recomenda-se o uso da adubação com molibdênio, independente da via de aplicação (solo ou folha), para otimizar o teor de proteína bruta e digestibilidade *in situ* do sorgo solteiro e consorciado com feijão.

**Palavras chave:** digestibilidade *in situ*; sistema de consórcio; *Sorghum bicolor*

## ABSTRACT

The period of food shortage, caused by climate change, is one of the biggest obstacles in the production of forage intended for feeding ruminants, since it causes fluctuations in the development and availability of forage grass plants and impacts the cattle raising activity in the semiarid region. The objective was to evaluate the application of molybdenum, via soil or via foliar, to improve the nutritional value of single sorghum and intercropped with legume. The research took place in two stages. The first was to verify the effects of fertilization with molybdenum on the chemical composition of single or intercropped sorghum and the second was to verify the *in situ* digestibility of single or intercropped sorghum receiving or not fertilization with molybdenum. Sorghum plants were cultivated in intercropped and single cultivation and two modes of molybdenum application (leaf and soil) and control crops, without molybdenum application. The designs were: for the first experiment it was in randomized blocks (DBC) with three replications and factorial scheme  $2 \times 2 + 2$  and the second was also in blocks plus a split plot. To evaluate the chemical composition, the sorghum cultivar (IPA-467) was implanted, considering two cuts and beans considering two cycles. The plants were grown in an intercropped and single system under an irrigation depth. Regarding the harvest, it was carried out manually with the aid of a machete to then carry out the evaluation of the chemical composition. For digestibility, the *in situ* technique was used, through incubation in the rumen of three rumen fistulated sheep, according to the incubation time, and all were removed at once to determine digestibility. Data were analyzed by Statistical Analysis Systems. Molybdenum fertilization increased the contents of crude protein, total carbohydrates, soluble fractions, disappearance rate, potential degradability, and effective degradability of sorghum ( $P < 0.05$ ) regardless of route of application (leaves or soil) or cultivation system (single crop or intercropping). In addition, fertilization reduced the rumen non-degradable fraction ( $P < 0.05$ ). Therefore, molybdenum may be applied on leaves or soil, and this practice can be recommended to optimize crude protein content and *in situ* digestibility of sorghum when cultivated as monoculture or intercropped with cowpea.

**Keywords:** *in situ* digestibility; intercropping system; *Sorghum bicolor*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Mapa de localização do estudo.....	40
<b>Figura 2</b> - Valores de precipitação pluvial (mm) e evapotranspiração de referência (Eto, mm) durante a condução do estudo na unidade acadêmica de serra talhada UAST-UFRPE.....	41
<b>Figura 3</b> - Desaparecimento ao longo do tempo de incubação da massa seca do sorgo cultivado em diferentes sistemas (solteiro ou consórcio) e adubação com molibdênio (via foliar ou solo) ou sem molibdênio, ciclo 1 e .....50	50

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1-** Caracterização química e física do solo da área experimental da UAST-UFRPE.....41
- Tabela 2-** Composição bromatológica do sorgo cultivado em diferentes sistemas (solteiro ou consórcio) e com (via foliar ou solo) ou sem molibdênio.....47
- Tabela 3-** Fração solúvel (a), fração potencialmente degradável (b), taxa de degradação da fração “b” (c) e fração não degradável do sorgo cultivado em diferentes sistemas (solteiro ou consórcio) e com (via foliar ou solo) ou sem molibdênio.....48
- Tabela 4-** Degradabilidade potencial e degradabilidade efetiva do sorgo cultivado em diferentes sistemas (solteiro ou consórcio) e com (via foliar ou solo) ou sem molibdênio.....49

## SUMÁRIO

<b>Introdução Geral</b> .....	13
Referências .....	15
<b>CAPÍTULO 1- Revisão de literatura</b> .....	16
1. <i>Uso das gramíneas na alimentação animal</i> .....	16
2. <i>Sorgo</i> .....	17
3. <i>Uso das leguminosas na alimentação animal</i> .....	18
4. <i>Benefício do consócio das leguminosas com gramíneas</i> .....	19
5. <i>Dificuldade de produzir forragem no ambiente semiárido</i> .....	19
7. <i>Molibdênio</i> .....	22
8. <i>Composição bromatológica do sorgo e feijão-caupi</i> .....	23
9. <i>Digestibilidade do sorgo e feijão-caupi</i> .....	24
Referências .....	26
<b>CAPÍTULO 2 – Adubação com molibdênio pode aumentar o teor de proteína e otimizar a digestibilidade do sorgo solteiro e em consócio com feijão-caupi? .....</b>	<b>34</b>
<b>2. Material e métodos</b> .....	<b>37</b>
2.1. <i>Local dos experimentos</i> .....	37
2.2. <i>Experimento 1</i> .....	38
2.2.1. <i>Implantação do experimento</i> .....	38
2.2.2. <i>Caracterização do solo</i> .....	39
2.2.3. <i>Tratamentos experimentais</i> .....	40
2.2.4. <i>Colheita do sorgo e processamento das amostras</i> .....	40
2.2.5. <i>Avaliação da composição bromatológica do sorgo</i> .....	41
2.2.6. <i>Composição bromatológica</i> .....	41
2.3. <i>Experimento 2</i> .....	41
2.3.1. <i>Avaliação da digestibilidade in situ</i> .....	41
2.3.2. <i>Tratamentos experimentais</i> .....	42
2.3.3. <i>Incubação</i> .....	42
2.3.4. <i>Determinação da digestibilidade in situ</i> .....	42
<b>2.4. Delineamento experimental e análise estatística</b> .....	<b>43</b>
2.4.1. <i>Experimento 1</i> .....	43
2.4.2. <i>Experimento 2</i> .....	44

3.	Resultados .....	45
3.1.	<i>Experimento 1</i> .....	45
3.2.	<i>Experimento 2</i> .....	45
4.	Discussão .....	48
<b>5.</b>	<b>Conclusões</b> .....	49
	Referencias .....	49

## Introdução Geral

O período de escassez de alimentos, ocasionado por mudanças climáticas é um dos maiores entraves na produção de forragem para ruminantes, visto que, causam flutuações no desenvolvimento e disponibilidade das plantas forrageiras e, conseqüentemente impacta na atividade pecuarista no semiárido. Nesse sentido, estratégias importantes como a produção de alimentos volumosos, ricos em grãos e com alto teor de fibra pode ser adotadas para diminuir esse impacto (NETO et al., 2015).

A produção de alimentos volumosos pode ser maximizada com o uso de tecnologias como a realização de adubação de baixo custo associada à plantas leguminosas, que auxiliam no metabolismo de fixação de nitrogênio. Com isso, a adubação com molibdênio mostra-se como um importante incremento de matéria seca em plantas leguminosas para a alimentação animal, uma vez que, estudos como o de Montagner, (2013) indicam que a utilização do molibdênio otimiza a produção de forrageiras e aumenta a produção de matéria seca.

A atuação do molibdênio no aumento da produção de matéria seca em leguminosas ocorre em vista do mineral integrar uma das três enzimas ou complexo enzimático relacionado com o processo de redução do nitrogênio atmosférico a  $\text{NH}_4^+$ , pela ação da nitrogenase, que possui molibdênio e ferro em sua estrutura. Dias et al. (2013), relataram que o molibdênio pode ser alternativa viável à complementação ou mesmo substituição da adubação nitrogenada.

O feijão pode ter sua produtividade limitada pela deficiência de molibdênio, dada a importância na participação deste no metabolismo do nitrogênio (Valadão et al. 2009). O suprimento com molibdênio é importante para o aproveitamento do nitrogênio, pois, o mesmo está presente na redutase e nitrogenase, enzimas fundamentais para o metabolismo do nitrogênio, com isso potencializando a fixação biológica do nitrogênio no solo através da simbiose.

É sabido que forragens de melhor qualidade podem ser consumidas em menor quantidade pelos animais, visto que, em função da maior digestibilidade, atendem as exigências nutricionais dos animais mais rapidamente, ou seja, com uma menor quantidade de forragem consumida (Simões et al 2022).

Consideravelmente o elevado custo com adubação nitrogenada, o consócio entre leguminosa e gramíneas otimiza a utilização de áreas cultiváveis refletindo no aumento da produção animal e na capacidade de fixar nitrogênio atmosférico no solo por meio da

simbiose com bactérias fixadoras, visto que, ocorre a retenção de N-atmosférico pelas bactérias aderidas às raízes das leguminosas, aumentando a quantidade de N no solo, o que favorece o crescimento da gramínea consorciada e diminui os custos com adubação nitrogenada.

Uma das leguminosas mais utilizadas no semiárido é o feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), que apresenta como características elevado teor de proteína e resistência ao estresse hídrico (LI et al. 2014). Dentre as espécies forrageiras comumente utilizadas na região semiárida, destaca-se o sorgo (*Sorghum bicolor*, L.) uma gramínea tropical que apresenta características como facilidade de cultivo e de manejo para corte ou pastejo, alta produtividade, rápido estabelecimento e crescimento, bom valor nutritivo, tolerância à seca e grande capacidade de produção de matéria seca (AGUILAR et al., 2015).

O valor nutritivo de uma planta forrageira é reflexo da composição bromatológica, consumo e digestibilidade, onde a digestibilidade tem sido utilizada como variável de qualidade, indicando a proporção do alimento que será utilizado pelo animal (Kistner et al. 2017). Apenas os teores dos nutrientes presentes nas plantas forrageiras não são suficientes para evidenciar o seu valor nutritivo, pois, uma fração dos nutrientes podem estar indisponíveis para o ruminante. Assim, a determinação da digestibilidade é fundamental para determinar a qualidade nutricional das plantas forrageiras.

Existem algumas técnicas que estimam a digestibilidade dos nutrientes como: método direto *in vivo* e métodos indiretos “*in vivo*” e “*in vitro*” (DOCHWAT et al., 2020). Para determinar a degradabilidade das plantas forrageiras no rúmen é utilizar a técnica *in situ* que é considerada a melhor forma de simulação. Neste método o alimento não passa por todo o processo de digestão como mastigação, ruminação e passagem, mas fornece informações relevantes a respeito do potencial forrageiro e sem comprometer a saúde do animal, caso exista metabólicos secundários que possam provocar intoxicação e até a morte dos animais. Essa técnica foi desenvolvida por Mehrez e Orskov (1977) e consiste em colocar amostras de alimentos em sacos de náilon no ambiente ruminal de ruminante fistulado. O método *in situ* se destaca por ser de fácil e rápida execução, necessita de pequenas quantidades do alimento, além de possibilitar o contato do alimento com o ambiente ruminal.

Pelos diversos fatores citados acima, este trabalho possibilitará gerar informações pertinentes em relação ao valor nutritivo do sorgo solteiro ou consorciado com leguminosa combinado a diferentes formas de adubação (via folha ou via solo) de molibdênio. Assim, objetivou-se avaliar a aplicação de molibdênio, via solo ou via foliar,

para melhorar a composição bromatológica e digestibilidade *in situ* do sorgo solteiro e consorciado com leguminosa.

## Referências

AGUILAR, P.B.; PIRES, D.A.A.; FROTA, B.C.B.; RODRIGUES, J.A.S.; ROCHA JÚNIOR, V.R.; REIS, S.T.; Características agronômicas de genótipos de sorgo mutantes bmr e normais utilizados para corte e pastejo. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 14, n. 4, p. 257-261, 2015

DIAS, R.S.; LÓPEZ, S.; MONTANHOLI, Y.R.; SMITH, B.; HAAS, L.S.; MILLER, S.P.; FRANCE, J. A. Meta-analysis of the effects of dietary copper, molybdenum, and sulfur on plasma and liver copper, weight gain, and feed conversion in growing-finishing cattle. *J Anim Sci.* (2013).

DOCHWAT, A.; NEUMANN, M.; BUMBIERIS JUNIOR, V.H.; HEKER JUNIOR, J.C.; CRISTO, F.B.; ZDEPSKI B.F.; SOUZA, A.M.; MATCHULA, A. Production and nutritional quality of black oat forage grown in different population stands under a successive cutting regime. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 72, n. 05 pp. 1936-1946, 2020.

Li, L.; Tilman, D.; Lambers, H.; Zhang, F. SPlant diversity and overyielding: insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. *New phytologist*, 203(1), 63-69, (2014).

KISTNER, M.J.; WAGNER, J.J.; EVANS, J.; CHALBERG, S.; JALALI, S.; SELLINS, K.; KESEL, M.L.; HOLT, T.; ENGLE, T.E. The effects of molybdenum water concentration on feedlot performance, tissue mineral concentrations, and carcass quality of feedlot steers. *J. Anim. Sci*, 95, 758–2766, 2017.

MEHREZ, A.Z.; ORSKOV, E.R.; McDONALD, I. Rate of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. *Br. J. Nutr.*, v.38, p.437- 443, 1977.

MONTAGNER, D. B.; EUCLIDES, V. P.; GENRO, T. C. Dry matter intake by beef steers on Piatã palisadegrass (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã) pasture. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 1, n. 1, p. 106-108, 2013.

NETO, F. J.; SEVERIANO, E.C.; COSTA, K.A.P.; GUIMARÃES JUNNYOR, W.S.; GONÇALVES, W.G.; ANDRADE, R. Biological soil loosening by grasses from genus *Brachiaria* in crop-livestock integration. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 37, n. 3, p. 375-383, 2015.

SIMÕES, V. J. L. P.; LEITE, M. L. M. V.; LUCENA, L. R. R.; SILVA, J. R. I.; IZIDRO, J. L. P. S.; SOUZA, E. S. Use of biostimulants in millet as strategies fortolerance to salinity of irrigation water. *Acta Scientiarum. Technology*, 44, e59126. DOI: 10.4025/actascitechnol.v44i1.59126, 2022

VALADÃO, F.C. N.; JAKELAITIS, A.; CONUS, L.A.; BORCHARTT, L.; OLIVEIRA, A.A.; VALADÃO JUNIOR, D.D. Inoculação das sementes e adubações nitrogenada e molíbdica do feijoeiro-comum, em Rolim de Moura, RO. *Acta Amazonica* v. 39, n. 4 vol. p 741 – 748, 2009.

## CAPÍTULO 1- Revisão de literatura

### 1. *Uso das gramíneas na alimentação animal*

As espécies forrageiras pertencentes a família Poaceae assumem um papel de grande importância na produção de animais no Brasil. Estima-se que 20% da área total do país é coberta por gramíneas destinadas à atividade da pecuária. Além da sua considerável abrangência, as espécies dessa família são responsáveis por 88% da carne produzida no país Fagundes et al., (2011). No Brasil, as gramíneas forrageiras de maior êxito e potencial para produção de animais são as dos gêneros *Brachiaria*, *Panicum*, *Cynodon*, *Andropogon*, *Pennisetum* e *Sorghum*, com espécies de metabolismo fotossintético do tipo C4 e de grande adaptação às condições edafoclimáticas de regiões tropicais. Além desse grupo, vale destacar também as gramíneas de ciclo C3, com grandes contribuições para alimentação animal como, por exemplo, os gêneros *Lolium* e *Avena* (MONTAGNER et al., 2013).

As gramíneas com metabolismo C4 tendem a ter uma menor digestibilidade em comparação às gramíneas do tipo C3, em função da maior proporção de tecidos com paredes espessas e lignificadas (WILSON et al., 1983).

Esses mesmos autores ao avaliarem a influência da anatomia foliar na digestibilidade de gramíneas dos tipos fotossintéticos C3, C4 e um intermediário C3/C4, relataram que a maior digestibilidade é nas plantas do grupo C3 seguidas das intermediárias C3/C4 e por último no grupo C4. No entanto, esses efeitos dependem diretamente do estágio fenológico, quando em estádios iniciais do desenvolvimento, esses grupos apresentam uma boa digestibilidade e valor nutricional, mas a medida que vai amadurecendo ocorre redução dessas características.

Com o intuito de aumentar a exploração pecuária no semiárido brasileiro, muitas gramíneas tropicais (C4) foram introduzidas na região, mas são escassos os estudos direcionados ao manejo destas forrageiras Luna et al., (2014). Nesse sentido, é imprescindível a realização de pesquisas voltadas para espécies adaptadas às condições de clima e solo intrínsecas dessas regiões. Dentre as gramíneas forrageiras utilizadas no Semiárido para alimentação animal, podemos destacar o sorgo (*Sorghum bicolor*, L.) que apresenta alta produtividade de biomassa e excelente valor nutricional, sendo assim, uma alternativa para preencher o vazio forrageiro nessa região.

## 2. *Sorgo*

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*, L.) está inserida no grupo das gramíneas tropicais e tem origem no Nordeste da África, nas regiões da Etiópia e Sudão, teve sua domesticação através da seleção das espécies silvestres: *Sorghum arudinaceum* e *Sorghum verticilliflorum*. No continente Africano encontra-se atualmente a maior variabilidade de espécies silvestres e cultivadas (BOREM et al., 2014; OWUAMA, 1997). Sua chegada às Américas foi por volta da metade do século XIX (BOREM et al., 2014). No Brasil, o desenvolvimento do sorgo ocorreu principalmente nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste. Embora tenha um grande potencial para cultivo na região Semiárida, do Nordeste brasileiro, devido a adaptação à seca, alta salinidade e alta temperatura, características importantes dos genótipos utilizados nessa região (SANTOS et al., 2010; TARI et al., 2013).

O sorgo é uma espécie de alta produtividade e possui vários usos importantes em termos econômicos, como alimentos (grãos), forragem (grãos e biomassa), combustível (produção de etanol), fibra (papel), fermentação (produção de metano) e fertilizantes (utilização de subprodutos orgânicos). Tare et al., (2013). Costa et al. (2015) em pesquisa com cultivares de sorgo com e sem cobertura do solo em sistema de vazante, encontraram variações no rendimento de matéria seca variando entre 10,29 a 19,97 t/ha. Além do satisfatório desempenho agrônomico e multiplicidade de utilizações, apresenta um baixo custo de estabelecimento e fácil adaptação a uma ampla variabilidade de condições de fertilidade do solo (CARRILLO et al., 2014).

O metabolismo de fixação de carbono do tipo C4 promove ao sorgo uma vantagem fotossintética que permite seu cultivo em regiões muito quentes ou secas (DÖRING et al., 2016). Burke et al. (2018) ao avaliarem a diversidade genética no condicionamento ambiental de dois híbridos de sorgo, destacaram que o metabolismo do sorgo se adapta continuamente à temperatura ambiente, à medida que os padrões térmicos se modulam diurna e sazonalmente. No entanto, temperaturas acima de 38°C podem comprometer a fotossíntese dessa espécie e, conseqüentemente, o acúmulo de matéria seca (CHEN et al., 2019).

Os seguintes subtipos são considerados os mais importantes entre os tipos funcionais de *Sorghum bicolor* ssp: (1) sorgo doce de porte alto (sorgo sacarino), (2) variedades de porte baixo cultivadas para grãos, (3) sorgo vassoura (*Sorghum vulgare*

var. *technicum*) para aplicações técnicas e o (4) sorgo forrageiro como, exemplo, o capim-sudão (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.) com boa capacidade de rebrota, sendo colhido várias vezes ao ano (DAHLBERG et al., 2011).

### 3. *Uso das leguminosas na alimentação animal*

O uso de leguminosas forrageiras em pastagens foi fortemente influenciado por pesquisas na década de 1940, devido ao alto investimento em programas de coleta de germoplasma ao redor do mundo por parte de instituições australianas (CLEMENTS e HENZELL, 2010). Até essa década, a utilização de leguminosas tropicais era limitada apenas ao uso como cobertura morta (SCHULTZE-KRAFT e GIACOMETTI, 1979). O desenvolvimento das pesquisas australianas promoveu o lançamento de várias cultivares como, por exemplo, o *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro, que foi a primeira cultivar de leguminosa forrageira tropical resultante de melhoramento genético (CLEMENTS, HENZELL, 2010; JONES, 2014).

Atualmente, são vários os trabalhos (MUIR et al., 2014; SOUZA et al., 2016; DUBEUX et al., 2014a e b) que destacam os benefícios de utilização de leguminosas na alimentação animal devido, principalmente, ao fornecimento de níveis mais altos de proteína bruta. Nesse sentido, nota-se também uma concentração de esforços no desenvolvimento de estudos a respeito da criação de ruminantes em pastos consorciados de gramíneas e leguminosas, sendo essa considerada uma alternativa sustentável para aumentar a qualidade e a quantidade de forragem para os animais (LUSCHER et al., 2014; SOUZA et al., 2016).

Os benefícios da utilização de leguminosas para produção animal não se resumem no maior teor de proteína bruta, em geral, espécies dessa família apresentam uma menor proporção de parede celular e são mais ricas em cálcio e fósforo do que as gramíneas. Essas características proporcionam uma digestibilidade da matéria seca semelhante ou maior que a registrada nas gramíneas tropicais, considerando o mesmo estágio de desenvolvimento e condição de cultivo (BARCELLOS et al., 2008; REIS e RODRIGUES, 1993). Segundo Reis e Rodrigues (1993) as leguminosas de clima tropical assemelham-se com as de clima temperado com relação aos teores proteicos, enquanto que, as gramíneas de clima tropical, apresentam valores proteicos inferiores às de clima temperado.

#### *4. Benefício do consócio das leguminosas com gramíneas*

Nas últimas décadas é crescente o reconhecimento dos benefícios da produção pecuária em consócios de leguminosas e gramíneas, esses sistemas inclusive são tidos como uma alternativa para garantir a intensificação da produção de maneira sustentável. Entre alguns dos benefícios podemos citar a redução do uso de adubos químicos nitrogenados devido à fixação biológica de nitrogênio pela leguminosa, menores custos de produção, maiores produtividades e aumento da qualidade e diversificação da dieta consumida pelos animais (LUSCHER et al., 2014).

Além desses benéficos, esses sistemas podem promover outros serviços ecossistêmicos como, por exemplo, a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas através da redução de emissões dos principais gases de efeito estufa em comparação com os sistemas fertilizados com N; reduzir a energia fóssil usada na produção de alimentos e forragens; contribuir para o sequestro de carbono nos solos e fornecendo uma fonte viável de biomassa para biocombustível (JENSEN et al., 2012). Kirkby et al. (2011) destacaram que há proporções semelhantes de C e N em diferentes tipos de solos. Dessa forma, sugere-se que a fixação biológica de nitrogênio (FBN) pelas leguminosas também aumenta o potencial de sequestro de C no solo (NAIR et al., 2010).

As leguminosas possuem a capacidade de se associar simbioticamente às bactérias fixadoras de nitrogênio e usá-lo para o seu crescimento. Segundo Muir et al. (2014) as leguminosas podem complementar a dieta dos animais em pastagem, sendo uma considerada uma excelente fonte de proteínas, que inclusive podem ser importantes durante estações secas do ano. Alguns trabalhos (PEOPLES et al., 2012; XAVIER et al., 2014) destacaram que o consócio entre leguminosa e gramíneas pode favorecer o maior acúmulo de N na gramínea, levando a um melhor desempenho animal. De acordo com Nyfeler et al. (2011) os consócios podem produzir mais N do que cultivos solteiros de leguminosa devido à estimulação mútua na absorção de N.

#### *5. Dificuldade de produzir forragem no ambiente semiárido*

A pecuária é uma das atividades socioeconômicas mais importantes no Semiárido Brasileiro, onde a limitação hídrica é um dos principais fatores que afetam a produtividade de espécies forrageiras, tendo como consequência redução do desempenho produtivo dos animais (CARVALHO et al. 2017; SANTOS et al. 2017). Nessa região, a vegetação nativa constitui um importante recurso alimentar. No entanto, geralmente esse recurso não atende as exigências nutricionais dos animais, e quando não há o

armazenamento e disponibilidade de outras fontes de volumosos, a produção é drasticamente reduzida a ponto de tornar-se economicamente inviável a atividade da pecuária (SANTOS et al., 2011). Os fatores climáticos como, por exemplo, a irregularidade das chuvas, as altas temperaturas e a alta radiação solar afetam a produção de forragens, que conseqüentemente afeta a produção animal.

A recarga dos reservatórios hídricos no Semiárido brasileiro é severamente comprometida devido ao desequilíbrio entre a precipitação e o potencial de evapotranspiração, em 23,4% da região do Semiárido a evapotranspiração demanda mais de 95% da água da chuva (SILVA et al., 2017). O déficit hídrico proporcionado por essas condições promove um decréscimo nas atividades fisiológicas das plantas, reduzindo o seu crescimento e, conseqüentemente, o acúmulo de forragem (MONTEIRO et al., 2014). Além do baixo índice pluviométrico, a radiação solar elevada favorece a ocorrência de altas temperaturas do ar que também podem comprometer a produção de algumas espécies forrageiras.

De Alencar et al. (2010) em estudo sobre a composição bromatológica e a digestibilidade *in vitro* em diferentes gramíneas tropicais relataram que o acúmulo de biomassa pode até ser beneficiado pelo acréscimo da temperatura, entretanto, há perdas qualitativas nas plantas sob elevadas temperaturas. Esses mesmos autores observaram redução do teor de proteína bruta, digestibilidade e um aumento no teor de FDN das plantas.

Diante do relatado acima, é fundamental o uso de espécies adaptadas a essas condições, em conjunto com práticas de conservação de forragem para garantir a disponibilidade de alimentos em períodos críticos. Entre as opções de espécies forrageiras capazes de assegurar a produção de sistemas pecuários na região do Semiárido, destacam-se a cultura do sorgo e do feijão-caupi. Bonfim-Silva et al. (2011) em estudo sobre o desenvolvimento de sorgo, milho e milheto sob condições de estresse hídrico, constataram que o sorgo possui tolerância ao déficit hídrico, assim como o milheto, enquanto que o milho mostrou ser menos tolerante a essas condições. Nascimento et al. (2011) ao avaliarem a tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi, concluíram que os genótipos BRS Paraguaçu, Pingo-de-ouro-1-2, Canapu, BAe CNCx 689-128G e TE898, apresentaram tolerância ao déficit hídrico.

## 6. Adubação

A correta nutrição mineral das plantas é fundamental quando se busca sucesso na produção agrícola (ACHARI e KOWSHIK, 2018). Muitos solos não conseguem suprir a necessidade nutricional demandada pelas culturas, ou em outros casos, a retirada de nutrientes pela cultura anterior precisa ser repostada ao iniciar um novo ciclo, necessitando corrigir a sua fertilidade (BALIGAR e FAGERIA, 2015). Diante disso, a adubação tem sido a melhor solução, com o objetivo de fornecer os nutrientes necessários para suprir as necessidades das plantas, seja via solo ou foliar (ROY; FINCK; BLAIR, 2006). Para isto, o uso de fertilizantes deve ser aplicado em forma, quantidade e tempo corretos, dependendo da necessidade de cada espécie.

As plantas necessitam de vários nutrientes orgânicos e inorgânicos para completar o seu desenvolvimento (MIRANSARI, 2011). Entre eles, os que elas necessitam em maior quantidade são o Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S), chamados de macronutrientes (HAWKESFORD et al., 2011). Já os requeridos em menor concentração, embora também essenciais, são chamados de micronutrientes, que são o Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibidênio (Mo) e Zinco (Zn), sendo também para algumas culturas o Níquel (Ni) e Cobalto (Co) (SHUKLA et al., 2018).

O cultivo intensivo de solos e alta demanda de culturas modernas, bem como as perdas por erosão e por lixiviação, são fatores que acentuam o aumento nos últimos anos das deficiências de micronutrientes na lavoura (FAGERIA e BALIGAR, 2015; CLARK, 2002). Com isso, também cresce a preocupação para prover a correta fertilização mineral destes micronutrientes, melhorando a produtividade, e sobretudo a qualidade nutricional das culturas (VALENÇA et al., 2017).

Em se tratando de pastagem e espécies forrageiras, a aplicação de adubos e corretivos ainda é negligenciado (SANTOS et al., 2018). Não é comum a preocupação com a nutrição mineral das plantas por grande parte dos produtores rurais que trabalham com culturas para a alimentação animal. No entanto, esse erro deve ser evidenciado cada vez mais. Estudos mostram que as plantas forrageiras também respondem no mesmo grau à adubação assim como as principais culturas agrícolas, e conseqüentemente são capazes de aumentar a eficiência da produção animal (COSTA; FAQUIN; OLIVEIRA, 2010; FERREIRA et al., 2011; OLIVEIRA NETO et al., 2020).

## 7. Molibdênio

Apesar de ser considerado micronutriente, ou seja, o organismo necessitar de quantidades mínimas, o molibdênio (Mo) é um importante elemento mineral essencial para a vida, pois é parte constituinte de várias enzimas responsáveis por processos chaves do metabolismo global, como nos ciclos biogeoquímicos do nitrogênio, carbono e enxofre, e na biossíntese de hormônios (MENDEL e KRUSE, 2012; TEJADA-JIMÉNEZ et al., 2013). A sua função é ser utilizado pelas enzimas para catalisar diversas reações de redução e oxidação (KAISER et al., 2005). No entanto, só obtém sua atividade biológica quando complexado, formando um local ativo das enzimas denominado cofator de molibdênio (MoCo) (JOHNSON; HAINLINE; RAJAGOPALAN, 1980).

Nas plantas, a sua essencialidade também é definida pelo desempenho de atividades enzimáticas, que podem ser perdidas ou pelo menos fortemente reduzidas caso haja deficiência (NIE et al., 2016). Além disso, o teor de Mo nas plantas é totalmente dependente da biodisponibilidade no solo, que é regulado pelo pH (MANUEL et al., 2018). Em solos mais ácidos, uma menor parte do Mo estará disponível (DUVAL; NATALI; HUNGATE, 2015; KABATA-PENDIAS, 2010), pois a disponibilidade deste elemento no solo ocorre através do ânion molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ), que é a única forma de deixar Mo disponível para plantas, fungos e bactérias (MENDEL e KRUSE, 2012).

Plantas deficientes de Mo apresentam diversas alterações dependendo da espécie, o que incluiu mudanças no próprio metabolismo, lesões e alteração na morfologia das folhas (MENGEL et al., 2001), e até reduções gerais no crescimento, comprometendo o desenvolvimento de frutos ou grãos, e a suscetibilidade a danos causados por pragas (GRAHAM e STANGOULIS, 2007). Por outro lado, os rendimentos de algumas culturas podem responder positivamente à fertilização de  $\text{MoO}_4^{2-}$  e ajuste de pH (VAN GESTEL et al., 2012; KOVÁCS et al., 2015). Além disso, o Mo pode até substituir a necessidade de correção em solos ácidos, desde que exista culturas noduladas (JONES, 2015).

Basicamente, as principais enzimas chaves dependentes de Mo envolvidas no metabolismo vegetal são as que estão relacionadas a assimilação de nitrogênio, como a nitrato redutase (NR), e a enzima fixadora de nitrogênio nitrogenase, encontrada em nódulos de leguminosas (KAISER et al., 2005). A NR participa da redução do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), e depois redução do  $\text{NO}_2^-$  a amônia ( $\text{NH}_3$ ) (TAKAI, 2019).

A enzima NR catalisa o primeiro passo enzimático da assimilação de nitrogênio pelas plantas superiores por meio da redução do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) (SANTOS et al., 2014). Parte do nitrogênio é absorvido pelas raízes na forma de nitrato,

podendo ser reduzido, armazenado nos vacúolos ou translocado para a parte aérea, onde ocorrerá a redução ou armazenamento nos vacúolos foliares (TAIZ; ZEIGER, 2017). A redução de nitrato ocorre no citossol e envolve a ação da enzima RN, produzindo nitrito, o qual se fixa nos plastídeos nas raízes ou cloroplastos em folhas, e é reduzido à amônia por ação da enzima nitrito redutase (NiR), a qual é fixada via glutamato sintase /glutamina sintase (GS/GOGAT) nos aminoácidos, glutamina e glutamato que servem de substrato para reações de transaminação, para a produção de aminoácidos necessários à síntese de proteínas (SILVA et al., 2011)

A deficiência de Mo nas plantas diminui a atividade desta enzima e pode ocasionar o acúmulo de nitrato (ABBASIFAR; VALIZADEHKAJI; IRAVANI, 2020). Já a nitrogenase participa ativamente da fixação de N<sub>2</sub> pelas bactérias fixadoras do gênero *Rhizobium* (JACOBY et al., 2017). Além destas, o Mo ainda participa da estrutura de enzimas que estão envolvidas com o transporte de elétrons e diversas reações bioquímicas, como é o caso da xantina oxidase-desidrogenase, sulfito-oxidase e aldeidooxidase (NIKS e HILLE, 2019).

#### 8. *Composição bromatológica do sorgo e feijão-caupi*

Saber a composição bromatológica das espécies forrageiras é fator determinante na hora da utilização de ingredientes na formulação de dietas que procuram maximizar o desempenho animal, bem como de seus efeitos na fermentação ruminal (SANTOS et al., 2017). Por meio deste conhecimento, é possível optar pela configuração mais adequada na hora do cultivo, que possa além de garantir elevada produção, fornece alimento com composição favorável à esta dieta (CAIN et al., 2017).

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) apresenta características favoráveis para alimentação animal, facilidade de cultivo, colheita e armazenamento, e tolerância a solos ácidos e seca (QUEIROZ et al., 2015). Além disso, é de alto valor nutritivo, que pode apresentar elevada produtividade e alta concentração de carboidratos solúveis, essencial para adequada fermentação da silagem (MCCUISTION et al., 2019).

A forragem do sorgo apresenta em média 25% matéria seca (MS) e proteína bruta (PB) em torno de 8% (VASCONCELOS FILHO et al., 2010). Contudo, esses valores variam de acordo com a cultivar, o propósito e o tipo de destinação (se ensilagem, forragem verde ou feno) (AVELINO e RODRIGUES, 2014). Além disso, podem haver variações em relação ao estágio vegetativo e a quantidade de carboidratos solúveis em

água, o que para a ensilagem pode acarretar em variações do pH e perda de matéria seca (MS) (DIAS et al., 2001).

No geral, essa espécie forrageira, visando à produção de silagem, apresenta teores que indicam uma boa fermentação (ABDELSEED et al., 2011). No entanto, devido o seu baixo valor de PB, recomenda-se a utilização de concentrados proteicos como forma de suplementação (SAVADOGO et al., 2000). Essa estratégia visa compensar esse fator negativo, muito embora possa aumentar os custos.

Nesse sentido, como alternativa, o uso de uma planta leguminosa, como o feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) poderia suprir a necessidade de aditivo de forma economicamente viável, objetivando a melhoria do valor nutricional da dieta animal. Essa espécie apresenta alto teor de proteínas (em torno de 20 a 25% de PB), e aminoácidos como a metionina, fenilalanina e tirosina (VASCONCELOS et al., 2010). Além da boa adaptabilidade ao ambiente com baixa fertilidade de solo e estresse hídrico, ele consegue manter a fixação de nitrogênio, sendo uma fonte proteica de baixo custo (AWIKA e DUODU, 2017).

O alto teor de fibras alimentares, vitaminas e minerais, além de possuir baixa quantidade de lipídeos, em média 2%, caracteriza o feijão-caupi como uma leguminosa de destaque (RIBEIRO, 2002). Além de aumentar a quantidade proteica da dieta, essa espécie contribui para melhorar a sua qualidade, visto que é rica em lisina, na qual alguns cereais apresentam deficiência (FROTA; SOARES; ARÊAS, 2008).

#### 9. Digestibilidade do sorgo e feijão-caupi

A capacidade do animal em obter uma maior ou menor nutriente através do alimento é chamada de digestibilidade, sendo esta uma característica do próprio alimento, e não do animal (SOUZA et al., 2003). Algumas fontes de alimentos apresentam maiores níveis de digestibilidade que outras, e isso depende de diversos fatores, como por exemplo: composição bromatológica (GIVENS, 2000).

O sorgo é considerado uma boa fonte nutricional, e apresenta cerca de 95% do valor biológico do milho, podendo substituí-lo inclusive, sem prejudicar o desempenho dos animais (SOUZA, 2013). No entanto, apesar de ter grande potencial para alimentação animal, alguns genótipos podem variar na composição física e química do grão devido a variações nas condições de crescimento (KAUFMAN et al., 2018), podendo ter alguma limitação nutricional. Além disso, o sorgo contém taninos que são elementos que podem prejudicar a digestibilidade, principalmente do grão (RONDA; VISARADA; BHAT,

2018). Ao se complexarem com proteínas e carboidratos, os taninos podem reduzir a ação de enzimas que estão envolvidas no metabolismo nutricional (FRUTOS et al., 2004). Tendo isso sem vista, a maior parte do sorgo utilizado, hoje em dia, é de baixo tanino (SENAI, 2016).

Outra característica importante no valor nutritivo da forragem é a determinação das frações fibrosas (GIVENS, 2000). Os teores de celulose, hemicelulose e lignina se correlacionam com a digestibilidade e, conseqüentemente, com o valor energético das espécies forrageiras. Geralmente, os teores destes compostos (principalmente lignina) estão correlacionados negativamente com a digestibilidade (GONZÁ, LEZ et al., 2010

Os teores de fibra do sorgo forrageiro variam de acordo com a cultivar, bem como do órgão analisado (se colmo, folhas ou panícula), apresentando faixas que vão de 43% a 64% para FDN, e 22% a 30% para FDA, na planta inteira (GOMES et al., 2006). Há uma variação também dependente da idade de corte, variando de 67,0% e 24,4% (80 dias) a 28,8% e 19,1% (110 dias), para FDN e FDA respectivamente (VASCONCELOS FILHO et al., 2010).

Já o feijão-caupi, além de fonte rica de proteína, apresenta todos os aminoácidos essenciais, carboidratos, vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras alimentares, baixa quantidade de gordura e não conter colesterol (RIBEIRO, 2002). Outra característica importante é possuir um perfil quase que exclusivo de alguns polifenóis, o que implica que eles podem fornecer propriedades bioativas únicas que complementam outros alimentos (AWIKA e DUODU, 2017).

Nas últimas décadas é crescente o reconhecimento dos benefícios da produção pecuária em consórcios de leguminosas e gramíneas, esses sistemas inclusive são tidos como uma alternativa para garantir a intensificação da produção de maneira sustentável. Entre alguns dos benefícios podemos citar a redução do uso de adubos químicos nitrogenados devido à fixação biológica de nitrogênio pela leguminosa, menores custos de produção, maiores produtividades e aumento da qualidade e diversificação da dieta consumida pelos animais (LUSCHER et al., 2014).

Os sistemas de consórcios podem promover outros serviços ecossistêmicos como, por exemplo, a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas através da redução de emissões dos principais gases de efeito estufa em comparação com os sistemas fertilizados com N; reduzir a energia fóssil usada na produção de alimentos e forragens; contribuir para o sequestro de carbono nos solos e fornecendo uma fonte viável de biomassa para biocombustível (JENSEN et al., 2012). Kirkby et al. (2011) destacaram

que há proporções semelhantes de C e N em diferentes tipos de solos. Dessa forma, sugere-se que a fixação biológica de nitrogênio (FBN) pelas leguminosas também aumenta o potencial de sequestro de C no solo (NAIR et al., 2010).

As leguminosas possuem a capacidade de se associar simbioticamente às bactérias fixadoras de nitrogênio e usá-lo para o seu crescimento. Segundo Muir et al. (2014) as leguminosas podem complementar a dieta dos animais em pastagem, sendo uma considerada uma excelente fonte de proteínas, que inclusive podem ser importantes durante estações secas do ano. Alguns trabalhos (PEOPLES et al., 2012; XAVIER et al., 2014) destacaram que o consórcio entre leguminosa e gramíneas pode favorecer o maior acúmulo de N na gramínea, levando a um melhor desempenho animal. De acordo com Nyfeler et al. (2011) os consórcios podem produzir mais N do que cultivos solteiros de leguminosa devido à estimulação mútua na absorção de N.

## Referências

- ABBASIFAR, A.; VALIZADEHKAJI, B.; IRAVANI, M. A. Effect of green synthesized molybdenum nanoparticles on nitrate accumulation and nitrate reductase activity in spinach. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 1, p. 13–27, 2020.
- ABDELSEED, B. H.; ABDALLA, A. H.; YAGOUB, A. E. G. A.; MOHAMED AHMED, I. A.; BABIKER, E. E. Some nutritional attributes of selected newly developed lines of sorghum (*Sorghum bicolor*) after fermentation. **Journal of Agricultural Science and Technology**, 2011.
- ACHARI, G. A.; KOWSHIK, M. Recent Developments on Nanotechnology in Agriculture: Plant Mineral Nutrition, Health, and Interactions with Soil Microflora. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 33, p. 8647–8661, 2018.
- ALVES DE SOUZA, K. **Alimentos e alimentação animal**. 2013.
- AWIKA, J. M.; DUODU, K. G. Bioactive polyphenols and peptides in cowpea (*Vigna unguiculata*) and their health promoting properties: A review. **Journal of Functional Foods**, 1. nov. 2017.
- BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K. Nutrient Use Efficiency in Plants: An Overview. **Nutrient Use Efficiency: From Basics to Advance**, 2015.
- BARCELLOS, A. D. O.; RAMOS, A. K. B.; VILELA, L.; JUNIOR, M., & BUENO, G. Sustentabilidade da produção ani-mal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, vol. 37, n. spe., p.51-67, 2008.
- BONFIM-SILVA, E. M., DA SILVA, T. J. A., CABRAL, C. E. A., KROTH, B. E., & REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 180-186, 2011.

- BOREM, A.; PIMENTEL, L. D.; PARELLA, R. A. C. **Sorgo do plantio a colheita**. Viçosa, MG: Editora da UFV, 2014. p. 17-34.
- BOVAL, M.; R. M. DIXON. The importance of grasslands for animal production and other functions: a review on management and methodological progress in the tropics. **Animal**, v.6, n.5, p.748-762, 2012.
- BURKE, J. J., EMENDACK, Y., CHAD HAYES, C., & CHEN, J. Genetic diversity in the environmental conditioning of two Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Hybrids. **American Journal of Plant Sciences**, v.9. p. 817-831, 2018.
- CAIN, J. W.; GEDIR, J. V.; MARSHAL, J. P.; et al. Extreme precipitation variability, forage quality and large herbivore diet selection in arid environments. **Oikos**, v. 126, n. 10, p. 1459–1471, 2017.
- CARRILLO, M. A.; STAGGENBORG, S. A.; PINEDA, J. A. Washing sorghum biomass with water to improve its quality for combustion. **Fuel**, v. 116, p. 427-431, 2014.
- CARVALHO, G. G. P., REBOUÇAS, R. A., CAMPOS, F. S., SANTOS, E. M., ARAÚJO, G. G. L., GOIS, G. C., ... & CIRNE, L. G. A. Intake, digestibility, performance, and feeding behavior of lambs fed diets containing silages of different tropical forage species. **Animal Feed Science and Technology**, v.228, p.140-8, 2017.
- CHEN, D., WANG, W., WU, Y., XIE, H., ZHAO, L., ZENG, Q., & ZHAN, Y. Expression and Distribution of the Auxin Response Factors in *Sorghum bicolor* During Development and Temperature Stress. **International journal of molecular sciences**, v. 20, n. 19, p. 4816, 2019.
- CLEMENTS R.J., HENZELL E.F. Pasture research and development in northern Australia: an ongoing scientific adventure. **Tropical Grasslands**, v.44, p. 221–230, 2010.
- COSTA, E. J. B.; SOUZA, E. S.; BARROS JUNIOR, G.; NUNES FILHO, J.; SOUZA, J. R.; TABOSA, J. N.; LEITE, M. L. M. V. Cultivo de sorgo em sistema de vazante com e sem cobertura do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 2, p. 182- 195, 2015.
- COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P. Doses e fontes de nitrogênio na recuperação de pastagens do capim-marandu. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, n. 1, p. 192–199, 2010.
- DAHLBERG, J., BERENJI, J., SIKORA, V., & LATKOVIĆ, D. Assessing sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) germplasm for new traits: food, fuels and unique uses. **Maydica**, v.56, n2, p.165–172, 2011.
- DE ALENCAR, C. A. B., DE OLIVEIRA, R. A., CÓSER, A. C., MARTINS, C. E., DA CUNHA, F. F., FIGUEIREDO, J. L. A., ... & LEAL, B. G. Valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais irrigadas em diferentes épocas do ano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 1, p. 20-27. 2010.
- DE OLIVEIRA NETO, S. S.; GONÇALVES, A. S. F.; PIETRAMALE, R. T. R.; BELLÍSSIMO, M. J. Nitrogen and Phosphate Fertilization Maximize Grass BRS Zuri Performance. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 1, p. 64, 2020.
- DE SOUZA, V. G.; PEREIRA, O. G.; DE MORAES, S. A.; et al. Valor nutritivo de silagens de sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 3, p. 753–759, 2003.

DE VALENÇA, A. W.; BAKE, A.; BROUWER, I. D.; GILLER, K. E. Agronomic biofortification of crops to fight hidden hunger in sub-Saharan Africa. **Global Food Security**, 1. mar. 2017.

DIAS, A. M. A.; BATISTA, Â. M. V.; FERREIRA, M. DE A.; LIRA, M. DE A.; SAMPAIO, I. B. M. Efeito do Estádio Vegetativo do Sorgo (*Sorghum bicolor*, (L.) Moench) sobre a Composição Química da Silagem, Consumo, Produção e Teor de Gordura do Leite para Vacas em lactação, em Comparação à Silagem de Milho (*Zea mays* (L.)). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 6 suppl, p. 2086–2092, 2001.

DÖRING, F., STREUBEL, M., BRÄUTIGAM, A., & GOWIK, U. Most photorespiratory genes are preferentially expressed in the bundle sheath cells of the C4 grass *Sorghum bicolor*. **Journal of experimental botany**, v. 67, n. 10, p. 3053-3064, 2016.

DUBEUX, J.C.B., JR., M. DE A. LIRA, M.V.F. DOS SANTOS, et al. Soil characteristics under legume and non-legume tree canopies in signalgrass (*Brachiaria decumbens*) pastures. **African Journal of Range & Forage Science**, v.31, p.37-42, 2014b.

DUBEUX, JR., J.C.B., L.E. SOLLENBERGER, H.M.S. SILVA, T.C. et al. Nutrient cycling in tropical pastures: what do we know? In: O.G. Pereira, D.M. da Fonseca, K.G. Ribeiro, F.H.M. Chizzotti (eds.), **7th Symposium on Strategic Management of Pasture/5th International Symposium on Animal Production Under Grazing**. Visconde do Rio Branco: Suprema, p. 253-286, 2014a.

DUVAL, B. D.; NATALI, S. M.; HUNGATE, B. A. What Constitutes Plant-Available Molybdenum in Sandy Acidic Soils? **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 46, n. 3, p. 318–326, 2015.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, C.; CLARK, R. B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, v. 77, p. 185–268, 2002.

FAGUNDES, J. L., MOREIRA, A. L., FREITAS, A. W. D. P., ZONTA, A., HENRICH, R., ROCHA, F. C., ... & VIEIRA, J. S. Capacidade de suporte de pastagens de capim-Tifton 85 adubado com nitrogênio manejadas em lotação contínua com ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n.11, p. 2651-2657, dez. 2011.

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. D. Production systems - An example from Brazil. **Meat Science**, v. 84, n. 2, p. 238-243, 2010.

FERREIRA, E. T.; NABINGER, C.; ELEJALDE, D. A. G.; et al. Fertilization and oversowing on natural grassland: Effects on pasture characteristics and yearling steers performance. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 9, p. 2039–2047, 2011.

FROTA, K. D. M. G.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 470–476, 2008.

FRUTOS, P.; HERVÁS, G.; GIRÁLDEZ, F. J.; MANTECÓN, A. R. Review . Tannins and ruminant nutrition Tannins: structure and chemical. **Spanish Journal of Agricultural Research**, 2004.

GIVENS, D. I. **Forage evaluation in ruminant nutrition**. CABI Pub, 2000.

GOMES, P. S. D. C. F., FRANKE, L. B., & LOPES, R. R. Florescimento e produção de sementes de *Lotus subbiflorus* Lag. cv. El Rincón. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n.5, p. 964-971, 2011.

GOMES, S. O.; PITOMBEIRA, J. B.; NEIVA, J. N. M.; CÂNDIDO, E. M. J. D. Comportamento agrônomo e composição químico-bromatológico de cultivares de sorgo forrageiro no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, 2006.

GONZÁLEZ, F. L.; GONZÁLEZ, F. L.; FLORES, J. G. E.; et al. Agronomic evaluation and chemical composition of african star grass (*Cynodon plectostachyus*) in the southern region of the state of Mexico. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 12, n. 1, p. 1–9, 2010.

GRAHAM, R. D.; STANGOULIS, J. R. C. Molybdenum and disease. In: L. E. (Lawrence E. . Datnoff; W. H. Elmer; D. M. Huber (Orgs.); **Mineral nutrition and plant disease**. p.278, 2007.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; et al. Functions of Macronutrients. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition**. p.135–189, 2011.

JACOBY, R.; PEUKERT, M.; SUCCURRO, A.; KOPRIVOVA, A.; KOPRIVA, S. The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition—current knowledge and future directions. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1617, 2017.

JENSEN, E. S.; PEOPLES, M. B.; BODDEY, R. M., et al. Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 32:329–364, 2012.

JOHNSON, J. L.; HAINLINE, B. E.; RAJAGOPALAN, K. V. Characterization of the molybdenum cofactor of sulfite oxidase, xanthine oxidase, and nitrate reductase. Identification of a pteridine as a structural component. **The Journal of biological chemistry**, v. 255, n. 5, p. 1783–6, 1980.

JONES, M. B. Fertilization of Annual Grasslands of California and Oregon. **Forage Fertilization**. p.255–275, 2015.

JONES, R.M. The rise and fall of Siratro (*Macroptilium atropurpureum*) – what went wrong and some implications for legume breeding, evaluation and management. **Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales**, v.2, p.154–164, 2014.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. p. 548, 2010.

KAISER, B. N.; GRIDLEY, K. L.; NGAIRE BRADY, J.; PHILLIPS, T.; TYERMAN, S. D. The role of molybdenum in agricultural plant production. **Annals of botany**, v. 96, n. 5, p. 745–54, 2005.

KAUFMAN, R. C.; WILSON, J. D.; BEAN, S. R.; et al. Influence of genotype × location interaction on grain sorghum grain chemistry and digestibility. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 5, p. 1681–1688, 2018.

KICHEL, A.N.; SOARES, C.O.; BUNGENSTAB, D.J. Recuperação de pastagens degradadas com uso de sistemas de integração e o potencial agropecuário no Mato Grosso do Sul. In: BUNGENSTAB, D. J. (Org.) **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte. p.1-12, 2011.

KIRKBY, C. A., KIRKEGAARD, J. A., RICHARDSON, A. E., et al. Stable soil organic matter: a comparison of CNPS ratios in Australian and international soils. **Geoderma**, v.163, p.197-208, 2011.

- KOVÁCS, B.; PUSKÁS-PRESZNER, A.; HUZSVAI, L.; LÉVAI, L.; BÓDI, É. Effect of molybdenum treatment on molybdenum concentration and nitrate reduction in maize seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 96, p. 38–44, 2015.
- LEITE, M. L. M. V.; SILVA, D. S.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; RAMOS, J. P. F. Caracterização da produção de palma forrageira no cariri paraibano. **Revista Caatinga**, v.27, n.2, p.192 - 200, 2014.
- LUNA, A. A.; DIFANTE, G. S.; MONTAGNER, D. B.; et al. Características morfológicas e acúmulo de forragem de gramíneas forrageiras, sob corte. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, p. 1803-1810, 2014.
- LUSCHER, A.; MUELLER-HARVEY, I.; SOUSSANA, J.F.; et al. Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review. **Grass and Forage Science**, v.69, p. 206- 228, 2014.
- MANUEL, T. J.; ALEJANDRO, C. A.; ANGEL, L.; AURORA, G.; EMILIO, F. Roles of Molybdenum in Plants and Improvement of Its Acquisition and Use Efficiency. **Plant Micronutrient Use Efficiency: Molecular and Genomic Perspectives in Crop Plants**. p.137–159, 2018.
- MCCUISTION, K. C.; SELLE, P. H.; LIU, S. Y.; GOODBAND, R. D. Sorghum as a Feed Grain for Animal Production. **Sorghum and Millets**. p.355–391, 2019.
- MENDEL, R. R.; KRUSE, T. Cell biology of molybdenum in plants and humans. **Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Cell Research**, 1. set. 2012.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A.; KOSEGARTEN, H.; APPEL, T. Molybdenum. **Principles of Plant Nutrition**. p.613–619, 2001.
- MEYER, P. M.; RODRIGUES, P. H. M. Progress in the Brazilian cattle industry: an analysis of the Agricultural Censuses database. **Animal Production Science**, v. 54, n. 9, p. 1338-1344, 2014.
- MIRANSARI, M. Soil microbes and plant fertilization. **Applied Microbiology and Biotechnology**, dez. 2011.
- MONTAGNER, D. B., EUCLIDES, V. P., GENRO, T. C. Dry matter intake by beef steers on Piatã palisadegrass (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã) pasture. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 1, n. 1, p. 106-108, 2013.
- MONTEIRO, J. G.; CRUZ, F. J. R.; NARDIN, M. B., et al. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.1, p.18-25, 2014.
- MUIR, J.P.; PITMAN, W.D.; DUBEUX, J.C.B. JR. et al. The future of warm-season, tropical and subtropical forage legumes in sustainable pastures and rangelands. **African Journal of Range & Forage Science**, p.1-12, 2014.
- NAIR, P. R.; NAIR, V. D.; KUMAR, B. M., et al. Carbon sequestration in agroforestry systems. **Advances in Agronomy**, v.108, p.237–307, 2010.
- NASCIMENTO, S. P. D.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C.; et al. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 853-860, 2011.
- NIE, Z.; HU, C.; TAN, Q.; SUN, X. Gene expression related to molybdenum enzyme

biosynthesis in response to molybdenum deficiency in winter wheat. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 16, n. 4, p. 979–990, 2016.

NIKS, D.; HILLE, R. Molybdenum-containing enzymes. **Methods in Molecular Biology**. v. 1876, p.55–63, 2019.

NYFELER, D.; HUGUENIN-ELIE, O.; SUTER, M. et al. Grasslegume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. **Agriculture, Ecosystems and Environments**, v.140, p. 155-163, 2011.

OWUAMA, C.I. Sorghum: a cereal with lager beer brewing potential. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.13, n.3, p.253–260, 1997.

PEOPLES, M. B., BROCKWELL, J., HUNT, J. R., et al. Factors affecting the potential contributions of N<sub>2</sub> fixation by legumes in Australian pasture systems. **Crop & Pasture Science**, v.63, p.759-786, 2012.

QUEIROZ, V. A. V.; DA SILVA, C. S.; DE MENEZES, C. B.; 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.

REIS, R. A.; RODRIGUES, L. R. A. **Valor nutritivo de plantas forrageiras**. Jaboticabal, 26 p, 1993.

RIBEIRO, V. Q. Cultivo do Feijão-caupi ( *Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Sistemas de Produção - EMBRAPA Meio-Norte**, 2002.

RONDA, V.; VISARADA, K. B. R. S.; BHAT, B. V. Sorghum for animal feed. **Breeding Sorghum for Diverse End Uses**. p.229–238, 2018.

ROY, R. N.; FINCK, A.; BLAIR, G. J. Plant nutrition for food security A guide for integrated nutrient management. **Food and agriculture organization of the united nations**. 2006.

SANTOS, I. L., SILVA, P. G., JÚNIOR, S. F. L., et al. Utilização de RAPD na caracterização molecular de acessos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) recomendados para o semi-árido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 60-66, 2010.

SANTOS, K. C.; MAGALHÃES, A. L. R.; SILVA, D. K. A.; et al. Nutritional potential of forage species found in Brazilian Semiarid region. **Livestock Science**, v. 195, p. 118–124, 2017.

SANTOS, P. M., VOLTOLINI, T. V., CAVALCANTE, A. C. R., PEZZOPANE, J. R. M., DE MOURA, M. S. B., DA SILVA, T. G. F., ... & DA CRUZ, P. G. Mudanças climáticas globais e a pecuária: cenários futuros para o Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.4, p.1176-1196, 2011.

SANTOS, S. F. A.; PAULINO, V. T.; KATIKI, L. M.; VERÍSSIMO, C. J. Profile of dairy farmers of the Joanópolis/SP region, Brazil: How they deal with *Rhipicephalus microplus* control and other diseases of veterinary interest. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 77–88, 2018.

SANTOS, C. L. R.; CAZETTA, J. O.; SARAN, L. M.; SANCHES, A. Otimização da análise da atividade da redutase do nitrato e sua caracterização em folhas de cana de

açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 49, n. 5, p. 384-394, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2014000500008>

SAVADOGO, M.; ZEMMELINK, G.; NIANOGO, A. J.; VAN KEULEN, H. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and groundnut (*Arachys hypogea* L.) haulms as supplements to sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) stover: Intake, digestibility and optimum feeding levels. *Animal Feed Science and Technology*, v. 87, n. 1–2, p. 57–69, 2000.

SCHULTZE-KRAFT, R.; GIACOMETTI, D.C. Recursos genéticos de leguminosas forrajeras para las sabanas de suelos ácidos e infértiles en América tropical. In: TERGAS, L.E.; SÁNCHEZ, P.A. (Ed.) **Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos**. Cali: CIAT, 1979. p.59-69.

SENAI, S. **Alimentos para animais**. SENAI-SP EDITORA, 2016.

SHUKLA, A. K.; BEHERA, S. K.; PAKHRE, A.; CHAUDHARI, S. K. Micronutrients in Soils , Plants , Animals and Humans. *Indian Journal of Fertilisers*, v. 14, n. 4, p. 30–54, 2018.

SILVA, J. R. I., SOUZA, R. M. S., SANTOS, W. A., DE ALMEIDA, A. Q., DE SOUZA, E. S., & ANTONINO, A. C. D. Aplicação do método de Budyko para modelagem do balanço hídrico no semiárido brasileiro. *Scientia Plena*, v. 13, n. 10, 2017.

SILVA, S. M.; OLIVEIRA, L. J.; FARIA, F. P.; REIS, E. F.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, S. M. Atividade da enzima nitrato redutase em milho cultivado sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e potássica. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 41, n. 11, p. 1931-1937, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011005000136>

SOUZA, F. M. D., LEMOS, B. J. M., OLIVEIRA JUNIOR, et al. Introdução de leguminosas forrageiras, calagem e fosfatagem em pastagem degradada de *Brachiaria brizantha*. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 17, n. 3, p. 355-364, 2016.

STRASSBURG, B. B., LATAWIEC, A. E., BARIONI, L. G., NOBRE, C. A., DA SILVA, V. P., VALENTIM, J. F., ASSAD, E. D. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *Global Environmental Change*, v. 28, p. 84-97, 2014.

TAKAI, K. The nitrogen cycle: A large, fast, and mystifying cycle. *Microbes and Environments*, v. 34, n. 3, p. 223–225, 2019.

TARI, I., LASKAY, G., TAKÁCS, Z., & POÓR, P. Response of sorghum to abiotic stresses: a review. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 199, n. 4, p. 264-274, 2013.

TEJADA-JIMÉNEZ, M.; CHAMIZO-AMPUDIA, A.; GALVÁN, A.; FERNÁNDEZ, E.; LLAMAS, Á. Molybdenum metabolism in plants. *Metallomics*, v. 5, n. 9, p. 1191–1203, 2013.

VAN ASSELEN, S., VERBURG. P. H. A Land System representation for global assessments and land-use modeling. *Global Change Biology*, v.18, p.3125-3148, 2012.

VAN GESTEL, C. A. M.; MCGRATH, S. P.; SMOLDERS, E.; et al. Effect of long-term equilibration on the toxicity of molybdenum to soil organisms. *Environmental Pollution*, v. 162, p. 1–7, 2012.

VASCONCELOS FILHO, A.; SIZENANDO FILHO, F.; OLIVEIRA, M.; SALES, R. COMPOSIÇÃO QUÍMICO-BROMATOLÓGICA DO SORGO. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 5, p. 110–124, 2010.

VASCONCELOS, I. M.; MAIA, F. M. M.; FARIAS, D. F.; et al. Protein fractions, amino acid composition and antinutritional constituents of high-yielding cowpea cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, n. 1, p. 54–60, 2010.

WILSON, J. R.; BROWN, R. H.; WINDHAM, W. R. Influence of Leaf Anatomy on the Dry Matter Digestibility of C3, C4, and C3/C4 Intermediate Types of Panicum Species 1. **Crop Science**, v. 23, n. 1, p. 141-146, 1983.

XAVIER, D. F., DA SILVA LÉDO, F. J., DE CAMPOS PACIULLO, D. S., et al. Nitrogen cycling in a Brachiaria-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.99, p.45-62, 2014.

## **CAPÍTULO 2 – Adubação com molibdênio pode aumentar o teor de proteína e otimizar a digestibilidade do sorgo solteiro e em consórcio com feijão-caupi?**

### **RESUMO**

Considerando que a qualidade das plantas forrageiras, principalmente os teores de proteína bruta (nutriente mais oneroso) e digestibilidade, é um dos principais entraves para viabilizar a produção de ruminantes, a adubação com molibdênio torna-se uma alternativa viável e de baixo custo, quando comparada a adubação nitrogenada. Pois, o molibdênio é um mineral que faz parte das enzimas relacionadas com o processo de redução do nitrogênio atmosférico. Desta forma, objetivou-se verificar se adubação, via folha ou via solo, com molibdênio pode aumentar o teor de proteína bruta e digestibilidade do sorgo solteiro e em consórcio com feijão-caupi. Este estudo foi dividido em dois experimentos: O primeiro experimento foi realizado para verificar os efeitos da adubação, via folha ou via solo, com molibdênio sob a composição bromatológica do sorgo solteiro e em consórcio com feijão-caupi. As plantas de sorgo foram cultivadas em sistemas consorciado e solteiro e dois modos de aplicação do molibdênio (folha e solo) e cultivos controle, sem a aplicação do molibdênio. O delineamento foi em blocos casualizados (DBC) com três repetições e esquema fatorial  $2 \times 2 + 2$ , sendo duas formas de adubação (folha ou solo), duas formas de cultivo (solteiro ou consórcio), mais dois tratamentos adicionais (sem molibdênio). O segundo experimento também foi em DBC, mas em parcela subdividida com objetivo de verificar os efeitos da adubação com molibdênio na digestibilidade *in situ* do sorgo solteiro e consorciado. Os dados foram analisados pelo *Statistical Analysis Systems* comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A adubação com molibdênio promoveu aumento nos teores de proteína bruta, carboidratos totais, fração solúvel, taxa de desaparecimento, degradabilidade potencial e efetiva ( $P < 0,05$ ) do sorgo solteiro e em consorcio, independente da via de aplicação (folha ou solo) e promoveu redução da fração não degradável no rúmen ( $P < 0,05$ ). Recomenda-se o uso da adubação com molibdênio, independente da via de aplicação (solo ou folha), para otimizar o teor de proteína bruta e digestibilidade *in situ* do sorgo solteiro e consorciado com feijão-caupí.

**Palavras chave:** degradabilidade; nitrogenase; *Sorghum bicolor*; redutase; valor nutritivo

## ABSTRACT

Forage quality is one of the main bottlenecks in ruminant production, especially in terms of protein content (most expensive nutrient fraction) and digestibility. When compared to nitrogen fertilization, molybdenum fertilization becomes a viable alternative to improve forage quality given that molybdenum participates in enzymatic processes related to atmospheric nitrogen reduction. Thus, we have aimed at verifying whether application of molybdenum on plant leaves or soil increase the crude protein content and digestibility of sorghum established as single crop and intercropped with cowpea. This study was divided into two experiments: experiment 1 was designed in a completely randomized block with three repetitions and a 2 x 2 + 2 factorial arrangement, composed of two routes of application (leave or soil), two methods of cultivation (single crop or intercropping system), and two additional treatments (with or without molybdenum). Experiment 2 was also designed in a completely randomized block; however, a split-plot design was used to assess the effects of molybdenum fertilization on in situ digestibility of sorghum from monoculture and intercropping systems. Data were analyzed in SAS (Statistical Analysis Systems) and compared through Tukey's test at 5% probability. Molybdenum fertilization increased the contents of crude protein, total carbohydrates, soluble fractions, disappearance rate, potential degradability, and effective degradability of sorghum ( $P < 0.05$ ) regardless of route of application (leaves or soil) or cultivation system (single crop or intercropping). In addition, fertilization reduced the rumen non-degradable fraction ( $P < 0.05$ ). Therefore, molybdenum may be applied on leaves or soil, and this practice can be recommended to optimize crude protein content and in situ digestibility of sorghum when cultivated as monoculture or intercropped with cowpea.

**Keywords:** degradability, nitrogenase, *Sorghum bicolor*, reductase, nutritive value

## 1. Introdução

A disponibilidade e qualidade de plantas forrageiras em períodos críticos de estiagem, se apresenta como um dos fatores limitantes para produção agropecuária em regiões áridas e semiáridas. Com intuito de maximizar a produção de forragem, é importante buscar alternativas de produção como implementação de técnicas eficientes de manejo como o uso de sistema consorciado e uso de adubação de baixo custo. O consorcio em gramíneas e leguminosas promove vários benefícios quando comparado ao cultivo exclusivo, tais como: maiores produções de matéria seca, maior estímulo a fixação biológica de nitrogênio, maior eficiência na utilização de água e melhora as características do solo (Sousa et al., 2013).

Considerando que a qualidade das plantas forrageiras, principalmente os teores de proteína bruta (nutriente mais oneroso) e digestibilidade, é um dos principais entraves para viabilizar a produção de ruminantes, a adubação com molibdênio torna-se uma alternativa viável e de baixo custo, quando comparada as formas tradicionais de adubação nitrogenada. Pois, o molibdênio é um mineral que faz parte das enzimas redutase e nitrogenase (enzimas relacionadas com o processo de redução do nitrogênio atmosférico a  $\text{NH}_4^+$ ), além de participar da estrutura de enzimas que estão envolvidas com o transporte de elétrons e diversas reações bioquímicas, como é o caso da xantina oxidase-desidrogenase, sulfito-oxidase e aldeído-oxidase (Barbosa et al., 2010).

Importante frisar que para a fixação do N-atmosférico faz-se necessário a atuação de duas importantes enzimas - a nitrogenase que é responsável pela fixação e absorção do nitrogênio, e da redutase, responsável pela redução do nitrato a nitrito e, em seguida, a amônio, ou seja, as leguminosas podem ter sua produtividade limitada pela deficiência de molibdênio, dada a importância na participação deste no metabolismo do nitrogênio (Biscaro et al., 2011). Desta forma, fica o questionamento: adubação com molibdênio pode aumentar o teor de proteína e otimizar a digestibilidade do sorgo solteiro e em consórcio com feijão-caupí?

Dentre as gramíneas mais utilizadas na alimentação animal em ambiente semiárido, destacar o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*, (L.) Moench.), o qual apresenta elevado potencial forrageiro, devido à alta palatabilidade e aceitabilidade pelos ruminantes. E no sistema consorciado com gramínea o feijão-caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), é bastante utilizada em ambientes quentes e secos, pois apresenta vantagens devido ao elevado teor de proteína e moderada tolerância ao estresse hídrico (Souza et

al., 2014). Além disso, no trabalho realizado por Marinho et al. (2017), relata que o feijão-caupí possui capacidade de fixar nitrogênio atmosférico ao solo através da simbiose com bactérias fixadoras, onde o nitrogênio obtido no processo de fixação biológica pode ser utilizado pela cultura consorciada com o feijão (Masvaya et al., 2017).

É sabido que forragens de melhor qualidade podem ser consumidas em menor quantidade pelos animais, visto que, em função da maior digestibilidade, atendem as exigências nutricionais dos animais mais rapidamente, ou seja, com uma menor quantidade de forragem consumida. Neste sentido, é importante a avaliação a composição bromatológica e digestibilidade. No entanto, apenas a composição bromatológica das plantas forrageiras não representa fator determinante, uma vez que certa fração do nutriente pode está indisponível para ser fermentada pelos microrganismos ruminais. Assim, a digestibilidade *in situ* proporciona resultados bastante precisos em relação à interação microrganismo-alimento.

Pelos diversos fatores citados acima, objetivou-se verificar se adubação, via folha ou via solo, com molibdênio pode aumentar o teor de proteína bruta e digestibilidade do sorgo solteiro e em consócio com feijão-caupí.

## **2. Material e métodos**

### *2.1. Local dos experimentos*

Os experimentos foram realizados na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada no município de Serra Talhada, Pernambuco, Brasil (07° 59'31''S, 38° 17'54''W), a 444 m de altitude (Figura 1).

De acordo com de Sudene (2017), o clima é do tipo BSw<sup>h</sup> semiárido, quente e seco, com ocorrências de chuvas entre os meses de dezembro a maio e, com precipitação média de aproximadamente 642 mm/anuais (INMET, 2021). A temperatura média anual do município é de 25,2°C e umidade relativa do ar de 63 %.

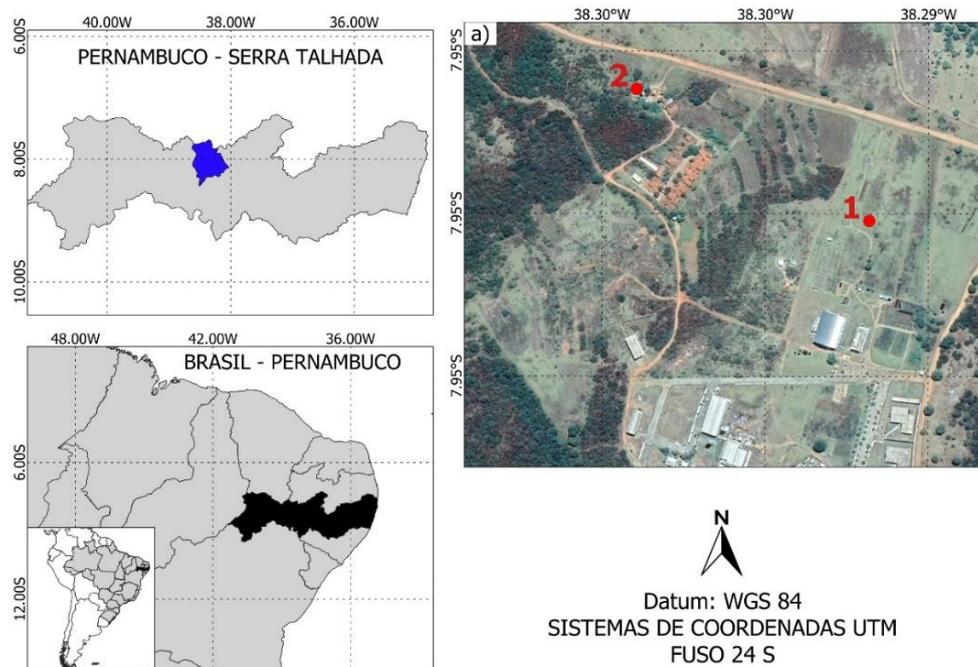


Figura 1. Mapa de localização do estudo.

## 2.2 Experimento 1

### 2.2.1. Implantação do experimento

O primeiro experimento foi realizado em dois ciclos. Para o sorgo (*Sorghum bicolor* L., cultivar IPA-467) foi considerado dois cortes com início da implantação 20 de janeiro de 2020 e primeiro corte 20 de maio de 2020 e segundo corte 30 de setembro de 2020 e para o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) dois ciclos de plantio, que tiveram aproximadamente 110 a 120 dias de duração cada ciclo. Onde o início da implantação ocorreu 28 de janeiro de 2020 e fim dia 30 de setembro de 2020. Para a implantação do feijão, foi realizado abertura de covas com profundidade de 5 cm e depositado três sementes/cova que posteriormente foram fechadas. Após quinze e vinte dias da emergência, foi realizado o desbaste na cultura do feijão, deixando apenas uma planta por cova. Para a cultura do feijão no consócio, o espaçamento utilizado de 1,0 x 0,2m

Para a implantação do sorgo, foi realizado plantio em sulcos com aproximadamente 5 cm de profundidade depositado sementes em todo o comprimento do sulco, e posteriormente foram fechados. Após vinte dias da emergência, foi realizado o desbaste, deixando vinte plantas por metro linear. O espaçamento utilizado foi 1,0 x 0,1

em ambos os sistemas. As plantas foram cultivadas em sistema consorciado e solteiro sob uma lâmina de irrigação de 50% com água salobra, com valores de pH e condutividade elétrica de  $7,27 \pm 0,18$  e  $2120 \pm 20,23 \mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente.

Durante os ciclos de plantio os dados meteorológicos foram monitorados através de uma estação meteorológica pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e localizada na UAST. A precipitação e evapotranspiração média foi de 100 mm e 7 mm/dia, respectivamente (Figura 2).

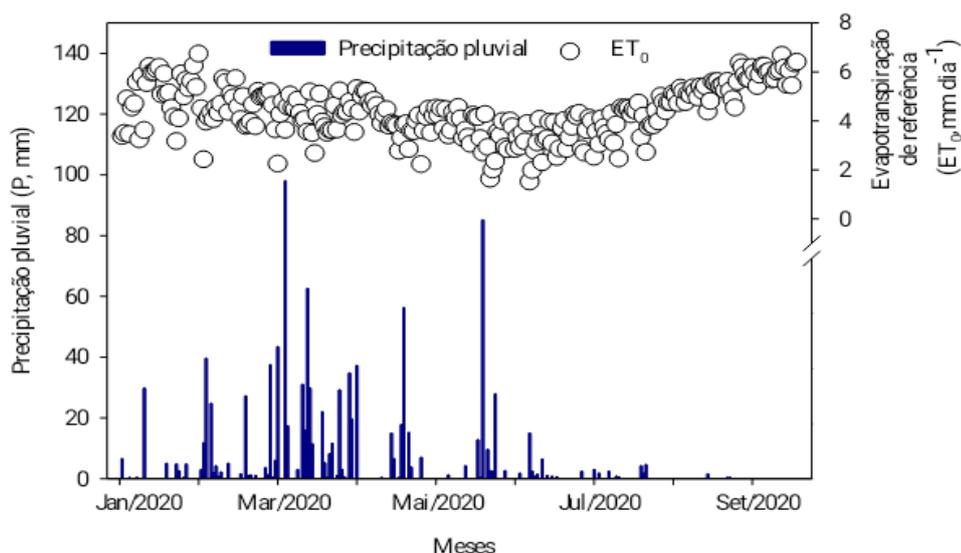


Figura 2. Valores de precipitação pluvial (mm) e evapotranspiração de referência (Eto, mm) durante a condução do estudo (INMET, 2020).

Em relação adubação do estudo, cada faixa de irrigação foi constituída de 10 fitas de gotejo, espaçadas a 0,75m entre si, com 12m de comprimento, totalizando 90 m<sup>2</sup>. As faixas de irrigação possuíam seis parcelas constituídas de cinco linhas de gotejo com 3m de comprimento, o que totaliza 11,25 m<sup>2</sup> de área total e 4,5m<sup>2</sup> área útil identificada como as três linhas centrais com 2m de comprimento. A irrigação foi realizada três vezes na semana. Os tratos culturais foram realizados a cada 30 dias, onde realizou-se capina para remoção de ervas invasoras.

### 2.2.2. Caracterização do solo

O solo presente na área do estudo é caracterizado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico Santos et al. (2013) para determinar as características físicas e químicas do solo estudado, foi realizado coleta de solos de 15 pontos aleatórios dentro da área de estudo

antes da implantação, com amostras de 0 a 60 cm. Após a coleta foi realizada a caracterização física e química da área de acordo com (EMBRAPA, 1997) (Tabela 1)

Tabela 1. Caracterização química e física do solo da área experimental da UAST-UFRPE

Propriedades químicas													
Prof (cm)	P md dm <sup>-3</sup>	pH	K	Na	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V	C	PST	M,O
			-----cmol c dm <sup>-3</sup> -----						-----%-----				
00-20	380	7,1	0,88	0,11	1,2	0,1	1	2,29	3,29	69,6	0,72	3,34	1,24
20-40	360	7,1	1,68	0,27	1,3	0,3	1	2,55	3,55	71,8	0,51	7,60	0,88
40-60	320	7,2	1,38	0,29	1,1	0,1	1	1,87	2,87	65,11	0,31	10,1	0,53
Propriedades físicas													
Prof (cm)	DS		DP		PT	NA	GF	AT	AG	AF	Silte	Argila	
			-----g cm <sup>-3</sup> -----		-----%-----			----Composição granulométrica %---					
00-20	1,61		2,53		36,26	4,32	59,00	73,6	44,50	29,10	15,9	10,5	
20-40	1,66		2,47		32,80	4,39	58,31	72,2	48,88	23,34	17,2	10,5	
40-60	1,58		2,47		36,07	6,39	49,01	71,8	48,24	23,52	15,7	12,5	

### 2.2.3. Tratamentos experimentais

Os tratamentos foram constituídos por duas formas de aplicação do molibdênio (120 g/ha via solo e foliar) e um tratamento controle (sem aplicação de molibdênio), bem como dois sistemas de cultivo do sorgo (solteiro ou em consórcio com o feijão). Para aplicação do molibdênio nas plantas, foi realizado a diluição para as duas formas de aplicação de 0,18 mg/kg de molibdênio em dois litros de água para cada parcela com dimensão 6 m<sup>2</sup>. A aplicação via foliar foi realizada com auxílio de um Pulverizador Costal Agrícola de modelo Nove54. A aplicação foi feita vinte e cinco dias após a emergência do feijão e vinte e cinco dias após o corte do sorgo, ou seja, uma aplicação para cada ciclo. Quando foi feito a adubação foliar, era realizado a cobertura das parcelas vizinhas com uma lona plástica, para que não ocorresse contaminação. Para a adubação via solo, era realizada com regador manual.

### 2.2.4. Colheita do sorgo e processamento das amostras

A colheita foi realizada quando o sorgo apresentou o teor de matéria seca entre 30% e 35%, em média 110 a 120 dia após a semeadura, o corte ocorreu de forma manual

com o auxílio de um facão, depois foram devidamente identificadas e levadas para serem trituradas em ensiladeira (JF maquinas agrícolas LTDA, JF 40 maxxium, Itapira, Brasil), para realização das análises bromatológicas.

#### 2.2.5. Avaliação da composição bromatológica do sorgo

Depois que o sorgo foi triturado em ensiladeira, foram retiradas amostra com cerca de 900 g, igualmente de cada parcela experimental, pesadas e colocadas em sacos de papel identificados para serem secas em estufa de ventilação forçada de ar  $55 \pm 5^\circ \text{C}$  durante 72 horas. Após esse processo as amostras foram moídas em moinho de facas tipo Wiley, passando por peneiras com crivo de 4 mm de diâmetro, depois foram triturada num moinho Wiley com peneiras de malha de 1 mm de diâmetro e acondicionadas em potes plásticos e mantidas a  $-20^\circ \text{C}$ , para posteriormente serem utilizadas para o ensaio de digestibilidade e composição bromatológica, respectivamente.

#### 2.2.6. Composição bromatológica

Em relação as variáveis realizadas, foram análise de matéria seca (MS) (método 967.03), matéria mineral (MM) (método 942.05), e proteína bruta (PB) (método 988.05), recomendações da AOAC (1990). A fibra em detergente neutro (FDN) foi determinada usando alfa-amilase como recomendado pela AOAC (1990). O extrato etéreo (método 920.29) foi determinado usando um extrator ANKOM XT-15, segundo metodologia da AOAC (1990). Os carboidratos totais e carboidratos não fibrosos foram estimados segundo equações propostas por Sniffen et al. (1992) e Hall (2000), respectivamente.

### 2.3. Experimento 2

#### 2.3.1. Avaliação da digestibilidade *in situ*

O experimento foi realizado no setor de ruminantes da UAST/UFRPE. O período experimental durou 28 dias, sendo 14 dias para a adaptação dos animais à dieta e 14 dias de incubação. Foram utilizados três ovinos machos não castrados da raça Santa Inês, com peso corporal médio de  $50 \pm 2 \text{kg}$  e fistulados no rúmen. Os animais foram mantidos em baias individuais com  $2 \times 2$  metros, com fornecimento de ração e água à vontade. A dieta fornecida aos animais foi a base de volumoso (capim elefante *Pennisetum purpureum*) e concentrado (farelo de milho, torta de algodão e mistura mineral) na proporção de 80% de volumoso e 20% de concentrado.

### 2.3.2. *Tratamentos experimentais*

Os tratamentos utilizados foram advindos do primeiro experimento, composto por: duas formas de aplicação do molibdênio (120 g/ha via solo e foliar) e um tratamento controle (sem aplicação de molibdênio), bem como dois sistemas de cultivo do sorgo (solteiro ou em consórcio com o feijão), totalizando seis tratamentos, que foram incubados todas em duplicata, no rúmen dos animais fistulados. Uma alíquota de dois gramas de amostra foi depositada em sacos de náilon devidamente pesados e identificados, porosidade de 50 micras, com uma relação de 14,3 mg de amostra por cm<sup>2</sup> seguindo as recomendações de Nocek (1988).

### 2.3.3. *Incubação*

Os tempos de incubação no rúmen foram: 0, 2, 4, 6, 12, 24, 48, 72 e 96 h. Colocou-se duas repetições por amostra e por tempo de incubação em cada animal fistulado. Decorrido o tempo de incubação, os sacos foram retirados ao mesmo tempo do interior do rúmen pela fistula e imediatamente imersos em recipientes com água e lavados em água corrente até que a água estivesse limpa. Os sacos zero hora foram lavados sem incubação no rúmen. Após a lavagem os sacos foram colocados em estufa de ventilação forçada a uma temperatura de 55° C por 72 h.

### 2.3.4. *Determinação da digestibilidade in situ*

Após a remoção dos sacos do rúmen, estes foram lavados em água corrente até que a água de lavagem se apresente limpa. Em seguida foram, secos em estufa com circulação forçada a 55 °C por 72 horas, pesados e determinado o desaparecimento da matéria seca. As taxas de desaparecimento da MS, ao longo do tempo de incubação das amostras no rúmen foram calculadas pela diferença entre o nutriente presente na amostra incubada e aquele que permaneceu no resíduo após incubação e foram utilizados para estimar os parâmetros da cinética ruminal. Por sua vez, os dados da marcha de degradação ruminal da MS ao longo do tempo de incubação, foram utilizados para estimar a degradabilidade potencial (DP), com os modelos matemáticos propostos por Ørskov e McDonald (1981) sendo:

$$DP = a + b(1 - e^{-c \times t})$$

Onde: a= fração solúvel, considerada completamente degradada no rúmen; b= fração insolúvel, potencialmente degradada no rúmen; c= taxa de degradação da fração b; t = tempo de incubação (0, 2, 4, 6, 12, 24, 48, 72, 96h); e = base dos logaritmos neperianos (2,718).

A fração solúvel (a) para cada genótipo foi determinada pela lavagem dos sacos com suas respectivas amostras, em banho-maria (39 °C) durante 15 minutos, agitando-se levemente os sacos. Para o cálculo da degradação efetiva (DE) foi utilizado o modelo matemático proposto por Ørskov e McDonald (1979):

$$DE = a + [(b \times c)/(c + k)] \times \exp [-(c + k)t]$$

Onde: k = taxa de passagem do conteúdo ruminal por hora, assumindo valores de 2, 5 e 8 %/hora (AFRC, 1993).

A fração não degradada (ND) foi calculada de acordo com a equação:

$$ND = 100 - (a + b)$$

## 2.4. Delineamento experimental e análise estatística

### 2.4.1. Experimento 1

Para avaliar a composição bromatológica das plantas foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizado com os tratamentos distribuídos em esquema fatorial 2x2+2, sendo dois (modo de aplicação do molibdênio 120 g ha: solo e via foliar), dois sistemas de cultivos (sorgo solteiro e consorcio sorgo/feijão) e dois tratamentos controle sem o uso do Mo (solteiro/consórcio) com três repetições. Os dados da composição bromatológica foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para comparação de médias usando o Software estatístico SAS (*Statistical Analysis Systems, versão 9.1*). O procedimento UNIVARIATE (PROCUNIVARIATE) testou a normalidade dos dados (Shapiro-Wilk a 5% probabilidade). O erro padrão da média foi estimado a partir dos dados originais. As diferenças entre os tratamentos foram consideradas significativas quando  $P < 0,05$ .

O modelo estatístico adotado foi:

$$y_{klj} = m + b_j + A_k + B_l + (AB)_{kl} + e_{klj}$$

Onde:  $y_{klj}$  = repetição  $m$  = média geral,  $b_j$  = efeito da aplicação do Mo no sistema de produção,  $A_k$  = efeito do sistema de produção na aplicação do Mo,  $(AB)_{kl}$  = é o efeito da interação entre A e B,  $e_{klj}$  = é o erro aleatório.

#### 2.4.2. Experimento 2

Para avaliação da digestibilidade aplicou-se delineamento em blocos casualizados com três repetições (animais) em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas compostas por seis tratamentos advindos da produção da forragem (T1-sorgo consorciado + com molibdênio via folha, T2-sorgo solteiro + com molibdênio via folha, T3- sorgo consorciado +com molibdênio via solo, T4-sorgo solteiro + com molibdênio via solo, T5-sorgo consorciado + sem molibdênio, T6-sorgo solteiro + sem molibdênio) e as sub parcelas são os tempos de incubação no rumem ( 0, 2, 4, 6, 12, 24, 48, 72 e 96 h)

Os dados de degradabilidade potencial e efetiva foram submetidos à análise de variância ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK) por meio do pacote estatístico SAS (*Statistical Analysis Systems*, versão 9.1). A normalidade dos dados (Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade) foi verificada por meio do procedimento UNIVARIATE (PROC UNIVARIATE), do SAS. O erro padrão da média foi obtido a partir dos dados originais. As diferenças entre os tratamentos foram consideradas significativas quando  $P < 0,05$ .

O modelo estatístico adotado foi:

$$y_{ijk} = \mu + \beta + \beta_j + (\beta)_{ij} + \gamma_k + (\beta\gamma)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Onde:  $y_{ijk}$  = Valor observado na parcela sub-dividida k, da parcela j e repetição i;  $\mu$  = Média Geral;  $\beta$  = Efeito do Bloco;  $\beta_j$  = Efeito da parcela principal (B);  $(\beta)_{ij}$  = Erro da parcela principal –E (A);  $\gamma_k$  = Efeito da parcela sub-dividida (C);  $(\beta\gamma)_{jk}$  = Interação BxC;  $\varepsilon_{ijk}$  = Erro da parcela-subdividida –E (B).

### 3. Resultados

#### 3.1. Experimento 1

Não houve efeito ( $P>0,05$ ) da interação da adubação com o sistema de cultivo para nenhuma das variáveis avaliadas. O sistema de cultivo do sorgo (solteiro ou em consórcio) e adubação com molibdênio (via foliar ou solo) não influenciaram significativamente ( $P>0,05$ ) para os teores de MS, MO, CNF, FDN, FDA e lignina (Tabela 2). No entanto, adubação com molibdênio promoveu aumento significativo ( $P<0,05$ ) nos teores de PB, independente do sistema de cultivo e da forma de aplicação do molibdênio. E consequentemente houve uma redução significativa ( $P<0,05$ ) nos teores CHOT com adubação do molibdênio (Tabela 2).

Tabela 2. Composição bromatológica do sorgo cultivado em diferentes sistemas (solteiro ou consórcio) e adubação com molibdênio (via foliar ou solo) ou sem molibdênio

Variável (g/kg)	Sistema de produção (S)						EPM	Valo de <i>P</i>		
	Consorcio			Solteiro				S	A	S*A
	Controle	Aplicação (A)		Controle	Aplicação (A)					
	Folha	Solo		Folha	Solo					
MS	316,6	295,2	278,2	318,5	285,1	322,8	0,77	0,46	0,31	0,44
MO	936,6	931,2	924,1	935,3	935,9	936,9	1,30	0,06	0,23	0,09
PB	38,7b	75,8a	66,8a	37,6b	59,0a	60,6a	0,37	0,23	0,01	0,61
CHOT	897,1a	853,6b	856,2b	896,8a	876,0b	875,4b	1,16	0,15	0,01	0,07
CNF	205,3	175,6	172,8	215,5	135,6	172,7	1,08	0,68	0,08	0,59
FDN	624,0	610,7	607,5	635,4	635,6	612,5	0,69	0,37	0,55	0,88
FDA	383,4	380,6	384,3	385,3	399,1	372,2	0,57	0,81	0,77	0,63
Lignina	60,6	62,5	58,7	60,3	57,9	74,7	0,14	0,22	0,18	0,76

Médias seguidas de letras minúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância; EPM = erro padrão da média; MS= massa seca; MO=matéria orgânica; PB=proteína bruta; CHOT= carboidratos totais; CNF=carboidratos não fibrosos; FDN=fibra em detergente neutro; FDA=fibra em detergente ácido.

#### 3.2. Experimento 2

O sistema de cultivo do sorgo (solteiro ou em consórcio) e adubação com molibdênio (via foliar ou solo) não influenciaram significativamente ( $P>0,05$ ) na fração potencialmente degradável (b), e taxa de degradação da fração “b” (c) do sorgo (Tabela

3). No entanto, independente do sistema da forma de cultivo e via de aplicação a adubação com molibdênio melhoraram significativamente ( $P < 0,05$ ) a fração solúvel (a) do sorgo e conseqüentemente promoveu redução ( $P < 0,05$ ) da fração não degradável (Tabela 3).

Tabela 3. Fração solúvel (a), fração potencialmente degradável (b), taxa de degradação da fração “b” (c) e fração não degradável do sorgo cultivado em diferentes sistemas (solteiro ou consórcio) e adubação com molibdênio (via foliar ou solo) ou sem molibdênio

Frações	Sem Molibdênio		Com Molibdênio				EPM	Valor de <i>P</i>
			Folhas		Solo			
	Consorcio	Solteiro	Consorcio	Solteiro	Consorcio	Solteiro		
Solúvel (a), g/kg	162,1b	146,6b	209,1a	181,3a	195,3a	198,6a	5,57	0,01
Potencialmente degradável (b), g/kg	430,0	398,4	394,5	417,4	505,3	439,6	1,81	0,28
Taxa de degradação da fração "b" (c, %/h)	3,06	2,20	2,23	3,76	1,83	1,96	0,31	0,34
Não degradável, g/kg	407,8 <sup>a</sup>	454,9a	396,4b	401,3b	299,4b	361,7b	1,79	0,04

Médias seguidas de letras minúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste de SNK ao nível de 5% de significância; EPM = erro padrão da média

A adubação com molibdênio, independente da via de aplicação, promoveu aumento significativo ( $P < 0,05$ ) na degradabilidade potencial efetiva nas taxas de 2, 5 e 8 % horas do sorgo solteiro ou em consórcio (Tabela 4).

Tabela 4. Degradabilidade potencial e degradabilidade efetiva do sorgo cultivado em diferentes sistemas (solteiro ou consórcio) e adubação com molibdênio (via foliar ou solo) ou sem molibdênio

Degradabilidade (g/kg)	Com Molibdênio						EPM	Valor de <i>P</i>
	Sem Molibdênio		Com Molibdênio					
	Consorcio	Solteiro	Folhas		Solo			
	Consorcio	Solteiro	Consorcio	Solteiro	Consorcio	Solteiro		
Potencial	380,1b	348,1b	411,6a	409,1 <sup>a</sup>	404,4a	406,1a	7,59	0,01
Efetiva								
k = 2%/h	380,1b	348,1b	411,6a	409,1 <sup>a</sup>	404,5a	406,1a	7,59	0,01
k = 5%/h	294,7b	264,4b	327,2a	326,7 <sup>a</sup>	311,0a	316,6a	7,75	0,02
k = 8%/h	258,6b	230,1b	292,6a	289,6 <sup>a</sup>	275,9a	281,4a	7,35	0,01

Médias seguidas de letras minúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste de SNK ao nível de 5% de significância; EPM = erro padrão da média; k taxa de passagem

O sistema de cultivo do sorgo (solteiro ou em consórcio), bem como a via de adubação (folha ou solo) com molibdênio, não influenciaram significativamente ( $P > 0,05$ ) na taxa de desaparecimento da matéria seca nas primeiras horas de incubação. Porém, após 48 horas de incubação a taxa de desaparecimento foi maior para os tratamentos com molibdênio ( $P < 0,05$ ), independente da via de aplicação ou sistema de cultivo (Figura 3).

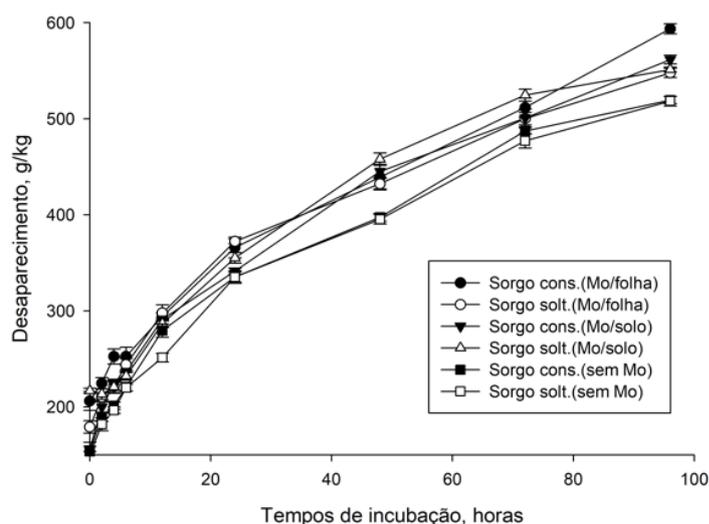


Figura 3. Desaparecimento da matéria seca ao longo dos tempos de incubação do sorgo cultivado em diferentes sistemas (solteiro ou consórcio) e adubação com molibdênio (via foliar ou solo) ou sem molibdênio.

#### 4. Discussão

O sorgo apresenta alta resposta à aplicação de fertilizantes, principalmente os nitrogenados. Nesta cultura, o acúmulo de nitrogênio ocorre quase linearmente até a maturação, sendo o elemento que mais frequentemente limita sua produtividade (Goes et al., 2011). O molibdênio, por fazer parte de alguns complexos enzimáticos relacionados com o nitrogênio, é um elemento que mesmo sendo requerido em quantidades mínimas é importante para o desenvolvimento das culturas, pois atua na nitrogenase (Dias et al., 2013). O mesmo também é encontrado em outras enzimas e proteínas na parede celular dos vegetais, entre elas: aldeído, desidrogenase, xantina e nitrato redutase (Mendel e Hansc 2002). Isso justifica a resposta positiva encontrada neste estudo, onde ocorreu o aumento na PB do sorgo quando adubado com molibdênio independente da forma de aplicação e tipo de sistema (Tabela 2).

O molibdênio está associado ao incremento do nitrogênio (N) na planta, tendo em vista que o N atua diretamente no aumento da produção de biomassa total, aumenta a atividade fotossintética das forragens e estimula a divisão celular, proporcionando aumentos nos teores de proteína (Viana et al., 2012). Vale salientar que, o local onde ocorreu o estudo, apresentava pH próximo ao neutro e estava exposto a elevadas temperaturas (Figura 2 e Tabela 1), favorecendo assim, a rápida oxidação do  $\text{NH}_4^+$  para  $\text{NO}_3^-$ , possibilitando uma predominância do nitrogênio em forma de nitrato (Restelatto et al. 2015). Oliveira et al. (2016), relataram que o molibdênio, por ser cofator da enzima nitrato redutase, é muito importante no processo de assimilação do  $\text{NO}_3^-$ , possibilitando o aproveitamento do nitrogênio, pela redução do nitrato à amônio.

O aumento dos teores de CHOT (Tabela 2) nos tratamentos controle (sem molibdênio) ocorreu devido à redução nos teores de PB, já que é uma relação inversa (Sniffen et al., 1992) e assim, ocorre redução dos nutrientes potencialmente digestíveis como os carboidratos solúveis, proteínas, minerais e vitaminas, que representam uma queda acentuada na digestibilidade (Tabela 4) (Santana Neto et. al., 2019; Kaplan et al. 2017). Como visto nos resultados, o molibdênio independente da forma de aplicação (via foliar ou solo) ou sistema de cultivo (consórcio ou solteiro), proporcionou aumento na fração solúvel, o que implicou em redução da fração não degradável (Tabela 3). Este comportamento, promoveu aumento na degradabilidade de potencial e efetiva nas diferentes taxas de passagem 2, 5 e 8%/horas (Tabela 4), assim como, na taxa de desaparecimento (Figura 3). Desta forma, fica evidente que, por fazer parte do sítio ativo

da nitrogenase (FeMo), o molibdênio melhora a captação do nitrogênio e assim a fração solúvel e digestibilidade *in situ*.

De acordo com Huang et al. (2022) o molibdênio é fundamental para o funcionamento da nitrato redutase e esta é uma enzima que regula a disponibilidade de nitrogênio nas plantas, desta forma, sua atividade está relacionada a produtividade do sorgo e com sua capacidade de responder à adubação. Estes resultados corroboram com os achados de Huang et al. (2019), que relataram que o aumento na taxa de aplicação de molibdênio, facilita a absorção e o transporte de nitrato para a parte aérea da planta, promovendo maior utilização do nitrato. Dias et al. (2013) relataram que a aplicação de molibdênio aumenta o teor de matéria seca das plantas forrageiras devido ao estímulo que o molibdênio tem na fixação de nitrogênio pelas plantas.

## 5. Conclusões

Recomenda-se o uso da adubação com molibdênio, independente da via de aplicação (solo ou folha), para otimizar o teor de proteína bruta e digestibilidade *in situ* do sorgo solteiro e consorciado com feijão-caupi.

## Referencias

ARAÚJO, R. A.; RODRIGUES, R. C.; SANTOS, C.S.; SANTOS, F. N. S.; COSTA, F. O.; LIMA, A. J. T.; SILVA, I. R.; RODRIGUES, M. M. Composição químico-bromatológica e degradabilidade *in situ* de capim-Marandu em sistemas silvipastoris formados por babaçu e em monocultivo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v.17, n.3, p.401-412, 2016.

BARBOSA, G. F.; ARF, O.; NASCIMENTO, M.S.; BUZETTI, S.; FREDDI, O.S. Nitrogênio em cobertura e molibdênio foliar no feijoeiro de inverno. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 117-123, 2010.

BISCARO, G. A.; FREITAS JÚNIOR, N. A.; SORATTO, R. P.; KIKUTI, H.; GOULART JÚNIOR, S. A. R.; AGUIRRE, W. M. Nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar no feijoeiro irrigado cultivado em solo de cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 4, p. 665-670, 2011.

DIAS, R.S.; LÓPEZ, S.; MONTANHOLI, Y.R.; SMITH, B.; HAAS, L.S.; MILLER, S.P.; FRANCE, J. A. Meta-analysis of the effects of dietary copper, molybdenum, and sulfur on plasma and liver copper, weight gain, and feed conversion in growing-finishing cattle. **Journal of Animal Science**, v.91, n.12, p.5714–5723, 2013.

GOES, R.J.; RODRIGUES, R.A.F.; ARRUDA, O.G.; VILELA, R.G.; Fontese doses de nitrogênio em cobertura no sorgo granífero nasafriinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.10, n.02, p.121–129, 2011.

HUANG, X.Y.; HU, D.W.; ZHAO, F.J. Molybdenum: More than an essential element. **Journal of Experimental Botany**, Vol. 73, n. 6, p. 1766–1774, 2022.

HUANG, X.Y.; LIU, H.; ZHU, Y.F. Pinson S.R.M, Lin H.X, Guerinot M.L, Zhao F.J, Salt. Natural variation in a molybdate transporter controls grain molybdenum concentration in rice. **New Phytologist**, v.22, n.1, p.1983–1997, 2019.

KAPLAN, M.; ARSLAN, M.; KALE, H.; KARA, K.; KOKTEN, K. GT Biplot Analysis for Silage Potential, Nutritive Value, Gas and Methane Production of Stay-Green Grain Sorghum Shoots. **International Journal of Agriculture and Natural Resources**, Santiago, v. 44, n. 3, p. 230-238, 2017.

MARINHO, R. C. N.; FERREIRA, L. V. M.; SILVA, A. F.; MARTINS, L. M. V.; NÓBREJA, R. S. A.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; DE, C. N. Symbiotic and agronomic efficiency of new cowpea rhizobia from Brazilian. semi-arid. **Bragantia**, Campinas v. 76, n. 2, p. 273–281, 2017.

MASVAYA, E.N.; NYAMANGARA, J.; DESCHEEMAEKER, K.; GILLER, K. E, Is maize-cowpea 636 intercropping a viable option for smallholder farms in the risky environments of semi-arid southern Africa. **Field Crops Research** v.209, p73–87, 2017.

McDONALD, I. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. **Journal of Agricultural Science**, v.96, p.251-252, 1981.

MUNIZ, E.B.; MIZUBUTI, I.Y.; PEREIRA, E.S.; PIMENTEL, P.G.; RIBEIRO, E.L.A.; PINTO, A.P. Cinética ruminal da fração fibrosa de volumosos para ruminantes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 604-610, 2012.

NOCEK, J.E. In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. **Journal of Dairy Science**, v.71, n.5, p.2051-2069, 1988.

OLIVEIRA, V.S.; SANTANA NETO, J.A.; VALENÇA, R.L.; SILVA, B.C.D.; SANTOS, A.C.P. Carboidratos fibrosos e não fibrosos na dieta de ruminantes e seus efeitos sobre a microbiota ruminal. **Veterinária Notícias**, v. 22, n. 2, p. 01-18, 2016.

ORSKOV, E.R.; McDONALD, P. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **J. Agric. Sci.**v.92, p.499-503, 1979.

RAMOS, A.O.; FERREIRA, M.A.; VÉRAS, A.S.C.; COSTA, S.B.M.; CONCEIÇÃO, M.G.; SILVA, E.C.; SALLA, L.E.; SOUSA, A.R.D.L. Diferentes fontes de fibra em dietas a base de plama forrageira na alimentação de ovinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.14, n.4, p 648-659, 2013.

RESTELATTO, R.; PAVINATO, P. S.; SARTOR, L. R.; EINSFELD, S.; M.; BALDICERA, F. P. Nitrogen efficiency and nutrient absorption by a sorghum-oats forage succession. **Advances in Agriculture**, v.2, p.12, 2015.

SANTANA NETO, J.A.; OLIVEIRA, J.S.; OLIVEIRA, C.J.B.; SANTOS, E.M.; COSTA, E.C.B.; SARAIVA, C.A.S.; PINHO, R.M.A. Ammonia levels on in vitro degradation of fibrous carbohydrates from buffel grass. **South African Journal of Animal Science**. V.49, 2019.

SILVA, V. P.; ALMEIDA, F. Q.; MORGADO, E. S.; FRANÇA, A. B.; VENTURA, H. T.; RODRIGUES, L. M. Digestibilidade dos nutrientes de alimentos volumosos determinada pela técnica dos sacos móveis em equinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n.1, p.82-89, 2009.

SILVA, J. K. B.; CUNHA, M. V.; SANTOS, M. V. F.; MAGALHÃES, A. L. R.; MELLO, A. C. L.; SILVA, J. R. C.; SOUZA, C. I. R.; CARVALHO, A. L.; SOUZA, E. J. O. Dwarf versus tall elephant grass in sheep feed: which one is the most recommended for cut-and-carry? **Tropical Animal Health and Production** 53:93, 2021.

SNIFFEN, C.J.; OCONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J.; FOX, D.G.; RUSSELL JB. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **J Anim Sci**. V.70, n.11, p.3562-77,1992.

SOUSA, C. H.; LACERDA, C. F. D.; SILVA, F. L.; NEVES, A. L.; COSTA, R. N.; GHEYI, H. R. Yield of cotton/cowpea and sunflower/cowpea crop rotation systems during the reclamation process of a saline-sodic soil. **Engenharia Agrícola**, v.34, n.5, p.867-876, 2014.

SOUZA, A.C.; RIBEIRO, R.P.; JACINTO, J.T.D.; CINTRA, A.D.A.R.; AMARAL, R.S.; SANTOS, A.C.; MATOS, F.S. Consórcio de pinhão manso e feijoeiro: alternativa para agricultura familiar. **Revista Agrarian**, v.6, p.36-42, 2013.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE – SUDENE, 2017. 785 Disponível em: <http://sudene.gov.br>. Acessado em 20 de março de 2021.

THORNDYKE, M.P.; GUIMARAES, O.; KISTNER, M.J.; WAGNER, J.J.; ENGLE, T.E. Influence of Molybdenum in Drinking Water or Feed on Copper Metabolism in Cattle-A Review. **Animals**, v.11, p.20-83, 2021.

VIANA, P.T.; PIRES, A.J.V.; OLIVEIRA, L.B.; CARVALHO, G.G.P.; RIBEIRO, L.S.O.; CHAGAS, D.M.T.; NASCIEMNTO FILHO, C.S.; CARVALHO, A.O. Fracionamento de carboidratos e de proteína das silagens de diferentes forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.2, p.292-297, 2012.