

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

FERNANDA DANIELA BRANDELERO

**APLICAÇÃO FOLIAR DE MOLIBDÊNIO EM ADUBOS VERDES E O
DESEMPENHO DO FEIJOEIRO EM SUCESSÃO**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2016

FERNANDA DANIELA BRANDELERO

**APLICAÇÃO FOLIAR DE MOLIBDÊNIO EM ADUBOS VERDES E O
DESEMPENHO DO FEIJOEIRO EM SUCESSÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Thiago de Oliveira Vargas

Coorientador: Prof. Dr. Alcir José Modolo

**PATO BRANCO
2016**

B817a Brandelero, Fernanda Daniela.
Aplicação foliar de molibdênio em adubos verdes e o desempenho do feijoeiro em sucessão / Fernanda Daniela Brandelero. -- 2016.
56 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Thiago de Oliveira Vargas
Coorientador: Prof. Dr. Alcir José Modolo
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2016.
Bibliografia: f. 46 - 54.

1. Feijão-de-porco. 2. Leguminosa. 3. Adubação verde. 4. Nitrogênio - Fixação. 5. Enzimas - Regulação. I. Vargas, Thiago de Oliveira, orient. II. Modolo, Alcir José, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDD (22. ed.) 630

Ficha Catalográfica elaborada por
Suellem Belmudes Cardoso CRB9/1630
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação n° 135

Aplicação Foliar de Molibdênio em Adubos Verdes e o Desempenho do Feijoeiro em Sucessão

por

FERNANDA DANIELA BRANDELERO

Dissertação apresentada às quatorze horas do dia trinta de março de dois mil e dezesseis como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Sistemas de produção vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção Vegetal) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Thiago de Oliveira Vargas
Prof. Orientador

Alcir José Modolo
Prof. Coorientador

Luís César Cassol
Membro titular

Marisa de Cacia Oliveira
Membro titular

Ricardo Henrique Silva Santos
Membro titular

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa”

Dedico este trabalho ao meu avô Alceu Brandelero (*in memoriam*), pois nos momentos difíceis sei que estava ao meu lado. E aos avós Neli, Alzira e Antônio pelo incentivo e apoio.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por todas as oportunidades e desafios que tem proporcionado a minha vida, os quais me fazem uma pessoa melhor.

À minha família, principalmente meus pais Maria e Gilmar, pelos ensinamentos. Aos meus irmãos Renata e Marcelo, pelo companheirismo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Thiago de Oliveira Vargas, pela amizade, orientação, ensinamentos e, principalmente, pelo incentivo a continuar nesta jornada.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Alcir José Modolo, por todo auxílio durante este período. À Profa. Dra. Marisa de Cacia Oliveira, pelo auxílio com a realização da análise enzimática e aos demais membros da banca, professores Dr. Ricardo Santos e Dr. Luís C. Cassol, pelas correções e sugestões realizadas.

Ao Prof. Dr. Ricardo Henrique Silva Santos pela doação das sementes dos adubos verdes.

Aos funcionários Sr. Otávio e Eloir e aos alunos do grupo de pesquisa Olericultura/Agroecologia, em especial a Jéssica e Talita, pela ajuda na condução e avaliação do experimento.

À Capes e a Fundação Araucária pela concessão da bolsa de estudo.

À UTFPR e a todos os professores que fizeram parte de minha formação durante a graduação e mestrado.

Enfim, a todos que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa, mesmo os que não tenham sido lembrados nestes parágrafos.

Sei o que devo ser e ainda não sou, mas
rendo graças a Deus por estar
trabalhando, embora lentamente, por
dentro de mim próprio, para chegar, um
dia, a ser o que devo ser.

Chico Xavier

RESUMO

BRANDELERO, Fernanda Daniela. Aplicação foliar de molibdênio em adubos verdes e o desempenho do feijoeiro em sucessão. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

O conhecimento dos efeitos da aplicação do molibdênio em leguminosas sobre a disponibilidade do N, por meio da FBN, aumento da atividade enzimática e o efeito residual provocado no crescimento e produção das culturas possam contribuir para o maior entendimento científico dos processos envolvidos na adubação verde. O objetivo geral deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de Mo e do N proveniente dos adubos verdes *Crotalaria juncea* e *Canavalia ensiformis* no desempenho do feijoeiro. Foram conduzidos experimentos à campo, em sistema de sucessão de culturas (adubos verdes – feijoeiro), e avaliação da atividade da enzima nitrato redutase, em laboratório. Para a produção dos adubos verdes foi instalado o esquema fatorial 2 x 4, sendo duas espécies de adubação verde, crotalária-juncea (*Crotalaria juncea*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), e quatro doses de Mo (0, 40, 80 e 120 g ha⁻¹), na forma de molibdato de sódio (Na₂MoO₄), aplicados via foliar, em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. Para o cultivo em sucessão (feijoeiro) foi utilizado um tratamento adicional, feijoeiro cultivado sem qualquer adubação, seguindo o mesmo delineamento experimental do cultivo anterior. A decomposição da matéria seca e a mineralização do N dos adubos verdes foram monitorados por meio de coletas dos resíduos ao longo do tempo, utilizando-se o método de bolsas de decomposição. Em laboratório foram realizados os ensaios da atividade da nitrato redutase nos adubos verdes e no feijoeiro aos 90 e 66 dias após semeadura, respectivamente. A crotalária-juncea respondeu de forma linear positiva à aplicação de Mo quanto ao acúmulo de matéria seca e N. Enquanto o feijão-de-porco apresentou comportamento quadrático negativo para matéria seca e para o N não houve ajuste de modelos de regressão. O feijão-de-porco apresentou maior taxa de decomposição e mineralização do N quando comparado com a crotalária-juncea. O tempo médio para decomposição de 50% da matéria seca depositada sobre o solo foi de 123 e 104 dias, para crotalária-juncea e feijão-de-porco, respectivamente e, 50% do N presente nos materiais foi mineralizado aos 93 e 85 dias. No feijoeiro, diferiram da testemunha para número de vagens a dose 40 g ha⁻¹ de Mo em ambas as espécies de adubos verdes e na dose 80 g ha⁻¹ de Mo em feijão-de-porco. Para número de grãos apenas em crotalária-juncea na dose 40 g ha⁻¹ de Mo diferiu da testemunha. A atividade da nitrato redutase teve influência do estágio de desenvolvimento das espécies de adubos verdes. No feijoeiro, a atividade da nitrato redutase foi até três vezes superior na dose 0 g ha⁻¹ de Mo, quando comparada aos tratamentos com aplicação de Mo em ambas as espécies. Não houve efeito das doses de Mo ou espécies de adubo verde na produtividade do feijoeiro.

Palavras-chave: *Crotalaria juncea*. *Canavalia ensiformis*. Leguminosas. Nitrogênio. Atividade enzimática. Nitrato redutase.

ABSTRACT

BRANDELERO, Fernanda Daniela. Foliar applied molybdenum in green manures and performance of common bean in succession. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

The knowledge of molybdenum application in legumes on the availability of N, by BNF, increased enzymatic activity and the residual effect caused on crops growth and yield can contribute to the greater scientific understanding involved in green manure processes. The aim of this study was to evaluate the Mo application and the N from *Crotalaria juncea* and *Canavalia ensiformis* green manures on common bean performance. Were conducted field experiments for the crops succession system (green manures - common bean) and laboratory essays for the enzymatic activities. Green manure production was installed in a factorial arrangement 2 x 4, with two green manure legumes species, sunnhemp (*Crotalaria juncea*) and jack beans (*Canavalia ensiformis*), and four Mo doses (0, 40, 80, 120 g ha⁻¹) in the form of sodium molybdate (Na₂MoO₄), foliar applied, in a randomized block design with four replicates. For succession crop (common bean) additional treatment was added, beans grown without any fertilization, following the same experimental design from the previous crop. The dry matter decomposition and the N mineralization of green manure were monitored through collection of residues over time, by using the litter bags method. In laboratory were carried out tests of nitrate reductase activity in green manures and common beans at 90 and 66 days after sowing, respectively. The sunnhemp responded linearly positively to the application of Mo as the dry matter and N accumulation. While the jack beans presented a negative quadratic response for dry matter and there was no adjustment of regression models to N. The jack beans showed a higher decomposition rate and N mineralization compared to sunnhemp. The half lives for decomposing 50% of dry matter on the soil was 123 and 104 days to sunnhemp and jack beans, respectively, and 50% of N present in the residues was mineralized at 93 and 85 days. In common bean, differed from the control for number of pods the dose of 40 g ha⁻¹ of Mo in both species of green manures and the dose 80 g ha⁻¹ of Mo in jack beans. For number of grains only in sunnhemp on the dose of 40 g ha⁻¹ of Mo differ from the control. The nitrate reductase activity was influenced by developmental stage of green manure species. In common bean, the activity of nitrate reductase was up to three times higher than the dose 0 g ha⁻¹ of Mo compared to treatment with application of Mo in both species. There was no effect of Mo doses or species of green manure on common bean yield.

Keywords: *Crotalaria juncea*. *Canavalia ensiformis*. Legumes. Nitrogen. Enzymatic activity. Nitrate reductase.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1. Precipitação (mm) e temperatura média (°C) no período experimental para a cidade de Pato Branco – Paraná, 2016..... | 21 |
| Figura 2. Acúmulo de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) em espécies de adubação verde sob doses de molibdênio. UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016..... | 27 |
| Figura 3. Acúmulo de nitrogênio ($kg\ ha^{-1}$) em espécies de adubação verde sob doses de molibdênio. UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016..... | 30 |
| Figura 4. Atividade da Nitrato Redutase (NR) em adubos verdes sob doses de molibdênio aos 90 dias após a semeadura. UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016. . | 39 |
| Figura 5. Atividade da Nitrato Redutase (NR) no feijoeiro-comum aos 66 dias após a semeadura após dois adubos verdes cultivados com diferentes doses de molibdênio. UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016. | 41 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Modelo exponencial, R^2 , relação C/N, constante de decomposição (k) e tempo de meia vida ($T_{1/2}$), da decomposição da massa e da mineralização do N dos adubos verdes sob doses de molibdênio presentes nas bolsas de decomposição. UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016. | 32 |
| Tabela 2. Número de vagens e número de grãos desenvolvidos por planta de feijoeiro cultivado sobre dois adubos verdes cultivados com diferentes doses de molibdênio em comparação com a testemunha. UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016. | 36 |
| Tabela 3. Atividade da Nitrato Redutase (NR) no feijoeiro-comum aos 66 dias após a semeadura após dois adubos verdes cultivados com diferentes doses de molibdênio. UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016. | 42 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|---------------------|------------------------------------|
| Al ⁺³ | Alumínio |
| ATP | Adenosina trifosfato |
| AV | Adubação verde |
| Ca | Cálcio |
| Cj | Crotalaria-juncea |
| CO ₂ | Dióxido de carbono |
| CTC | Capacidade de troca de cátions |
| DAE | Dias após a emergência |
| DAS | Dias após a semeadura |
| et al. | E colaboradores |
| FBN | Fixação biológica de nitrogênio |
| Fp | Feijão-de-porco |
| g | Gramas |
| g g ⁻¹ | Gramas por grama |
| g dm ⁻³ | Gramas por decímetro cúbico |
| g ha ⁻¹ | Gramas por hectare |
| h | Hora |
| H | Hidrogênio |
| ha | Hectare |
| k | Taxa de mineralização/decomposição |
| K | Potássio |
| kg | Quilograma |
| KNO ₃ | Nitrato de Potássio |
| m | Metros |
| m ² | Metros quadrados |
| MF | Matéria fresca |
| mg dm ⁻³ | Miligramas por decímetro cúbico |
| mL | Mililitro |
| Mm | Milímetros |
| MO | Matéria orgânica |

| | |
|---|--|
| Mo | Molibdênio |
| MoO ₄ ²⁻ | Molibdato |
| MS | Matéria seca |
| MSc | Matéria seca da crotalária-juncea |
| MSf | Matéria seca do feijão-de-porco |
| N | Nitrogênio |
| Nc | Acúmulo de nitrogênio da crotalária-juncea |
| Nf | Acúmulo de nitrogênio do feijão-de-porco |
| NH ₃ | Amônia |
| NH ₄ ⁺ | Amônio |
| nm | Nanômetro |
| NO ₂ ⁻ | Nitrito |
| NO ₃ ⁻ | Nitrato |
| NR | Nitrato Redutase |
| N-total | Nitrogênio total |
| P | Fósforo |
| pH | Potencial hidrogeniônico |
| SB | Soma de bases |
| t ha ⁻¹ | Toneladas por hectare |
| T _{1/2} | Tempo de meia vida |
| UE | Unidade Experimental |
| μmol NO ₂ ⁻ h ⁻¹ g ⁻¹ de MF | Micromol de nitrito por hora por grama de matéria fresca |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|----|----------------|
| °C | Graus Celsius |
| > | Maior do que |
| % | Porcentagem |
| ≤ | Menor ou igual |

LISTA DE ACRÔNIMOS

| | |
|---------|---|
| UTFPR | Universidade Tecnológica Federal do Paraná |
| IAPAR | Instituto Agrônômico do Paraná |
| PR | Unidade da Federação – Paraná |
| Embrapa | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |

SUMÁRIO



| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 20 |
| 3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL, SOLO E CLIMA | 20 |
| 3.2 PRODUÇÃO DOS ADUBOS VERDES <i>CROTALARIA JUNCEA</i> E <i>CANAVALIA ENSIFORMIS</i> | 21 |
| 3.3 DECOMPOSIÇÃO DA MASSA E MINERALIZAÇÃO DO N DOS ADUBOS VERDES | 22 |
| 3.4 PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO | 24 |
| 3.5 ATIVIDADE DA NITRATO REDUTASE | 25 |
| 3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA | 26 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 27 |
| 4.1 EFEITO DA APLICAÇÃO DO MOLIBDÊNIO NOS ADUBOS VERDES | 27 |
| 4.2 DECOMPOSIÇÃO DA MASSA E MINERALIZAÇÃO DO N | 31 |
| 4.3 PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO EM RESPOSTA À ADUBOS VERDES CULTIVADOS COM DIFERENTES DOSES DE MOLIBDÊNIO | 35 |
| 4.4 ATIVIDADE DA NITRATO REDUTASE | 38 |
| 5 CONCLUSÕES | 44 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 45 |
| REFERÊNCIAS | 46 |
| APÊNDICES | 55 |

1 INTRODUÇÃO

Além do potencial de ciclar e fornecer nutrientes, destacadamente o nitrogênio (N) atmosférico via fixação biológica (FBN), as leguminosas para adubação verde apresentam características como a proteção do solo dos agentes climáticos, contribuem para o controle de espécies de ocorrência espontânea, diminuem o teor de Al^{+3} pela complexação com a matéria orgânica e ácidos orgânicos liberados com a decomposição do material vegetal, aumentam a população de fungos micorrízicos, reduzem a amplitude térmica do solo, melhoram as condições e infiltração de água no solo, contribuem para a disponibilização do fósforo e outros nutrientes além de algumas espécies proporcionarem o controle de fitonematóides.

Apesar dos benefícios potenciais o uso de leguminosas na adubação verde ainda não é uma prática comum nos sistemas de produção. A utilização do N derivado da FBN em adubos verdes é baixa, atingindo valores em torno de 20 a 30% do N-total nas culturas. Isto se deve a diversos fatores como as condições edafoclimáticas, a espécie de leguminosa, o sistema de cultivo e manejo empregados. Além destes, há que considerar a quantidade e época de aplicação, o método como são fornecidos e a taxa de mineralização desses nutrientes em relação a principal época de demanda pela cultura principal ou cultivos subsequentes.

Parte significativa do N fornecido com a leguminosa é remineralizado em períodos posteriores. No entanto, pouco se sabe sobre o destino desse N na matéria orgânica do solo após sua mineralização, nem a intensidade e a durabilidade do efeito residual para as culturas subsequentes.

Os processos ligados à absorção e assimilação de N do solo e fixado via FBN pelas plantas são regulados basicamente por duas enzimas, a nitrato redutase e nitrogenase, respectivamente. O molibdênio (Mo) se apresenta como um constituinte indispensável à regulação da síntese e a durabilidade e continuidade do funcionamento destas duas enzimas, e no intuito de potencializar os processos ligados à metabolização de N pelas plantas, diversas pesquisas vêm sendo realizadas com este micronutriente.

O comportamento do Mo nos solos é inverso a grande maioria dos micronutrientes, tornando-se indisponível em solos ácidos, nos quais se liga a óxidos

de ferro e alumínio. Desta forma, em muitos solos cultivados a disponibilidade de Mo pode ser um dos fatores limitantes à potencialização da produtividade.

As leguminosas têm respondido de forma positiva às aplicações foliares deste micronutriente, com aumento das taxas das atividades enzimáticas e apresentando atividade por períodos mais prolongados. Com isso, há relato que plantas que receberam aplicações deste micronutriente podem elevar seus teores de N e aumentar a produtividade por meio da elevação da atividade da nitrogenase e da redutase do nitrato.

O estudo da resposta de plantas de adubação verde à aplicação de Mo e a variação nas taxas de N acumulado são importantes no intuito de potencializar o aporte de nutrientes ao sistema produtivo, elevando o aporte de N via FBN, e melhorando a ciclagem do N já presente no solo. Posteriormente ocorre variação na quantidade e qualidade dos resíduos depositados na superfície do solo e nas taxa de mineralização de nutrientes e decomposição do material vegetal, interferindo na disponibilização de nutrientes para os cultivos em sucessão.

Portanto, considera-se que o conhecimento dos efeitos da aplicação deste micronutriente às espécies de adubação verde, assim como as alterações nos processos de FBN, decomposição, mineralização e transferência de N a culturas em sucessão, são importantes na contribuição científica para o entendimento dos processos ligados a uma nova possibilidade de manejo das plantas de adubação verde, visando uma maior disponibilização de nutrientes as culturas de interesse comercial.

Com isso, o objetivo geral do presente estudo foi avaliar o efeito da aplicação de Mo e do N proveniente dos adubos verdes *Crotalaria juncea* e *Canavalia ensiformis* no desempenho do feijoeiro. Os objetivos específicos foram: Quantificar a produção de matéria seca e o N acumulado nos adubos verdes *Crotalaria juncea* e *Canavalia ensiformis* em função das doses de Mo; Avaliar a decomposição da massa e mineralização do N dos adubos verdes *Crotalaria juncea* e *Canavalia ensiformis* em função de doses de Mo; Avaliar a produtividade do feijoeiro em função dos pré-cultivos de adubação verde; Determinar a atividade enzimática da nitrato redutase nas leguminosas *Crotalaria juncea* e *Canavalia ensiformis* e no feijoeiro em função das doses de Mo aplicadas nos adubos verdes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dentro dos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes, existem inúmeras reações policíclicas entre solo, atmosfera e microrganismos que promovem a ciclagem dos nutrientes. Dentre estes, o N pertence ao ciclo gasoso, pois entra e sai do sistema nesta forma (GOMES et al., 2008).

O N é um elemento em grande abundância na atmosfera, constituindo 78% dos gases desta, porém, encontra-se em carência nas formas disponíveis para as plantas. O N₂ atmosférico não pode ser diretamente assimilado pelas plantas, apenas por alguns tipos de bactérias, as quais com o processo de FBN o disponibilizam para as plantas (ALMEIDA et al., 2013).

Todos os organismos dependem deste elemento, já que o N é essencial ao processo de fotossíntese por ser constituinte da clorofila e de inúmeras organelas na planta, principalmente as proteínas, membranas e diversos hormônios vegetais (SOUZA; FERNANDES, 2006). Este processo direta (vegetais) ou indiretamente (alimentação animal) é indispensável à alimentação humana.

Para as plantas, três são as principais fontes de N disponíveis: o solo com a decomposição e mineralização da matéria orgânica, a adubação mineral oriunda da produção industrial (processo de Haber Bosch) e a fixação biológica (MATOSO; KUSDRA, 2014).

A assimilação do nitrato (NO₃⁻) disponibilizado pelo processo decomposição da matéria orgânica e mineralização do N só é possível graças à ação da enzima nitrato redutase, presente nos tecidos vegetais. Já a assimilação do N atmosférico (N₂), ocorre através da enzima nitrogenase, presente em alguns microrganismos.

A FBN é realizada, principalmente, por bactérias do gênero *Rhizobium* em associação com plantas, em especial as leguminosas. Além destas, a FBN ocorre em outras espécies de plantas por meio de bactérias-especializadas de vida livre e algas que, apesar de não realizarem simbiose, realizam FBN (FREITAS; RODRIGUES, 2010).

A FBN possui grande importância em culturas comerciais (URQUIAGA et al., 2005) como nas leguminosas no caso o feijão (BRITO; MURAOKA; SILVA, 2011) e a soja (CAMARA, 2014), e para as gramíneas como a cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2003). No caso da soja, a evolução da pesquisa já chegou ao ponto de suprir a demanda de N pela cultura, dispensando a recomendação de adubação química.

Entretanto, outras plantas beneficiadas pela FBN ainda carecem de pesquisa para potencialização deste mecanismo, no intuito de reduzir ou suprimir a adubação química, e potencializar a assimilação de N do solo e via FBN.

Nesse contexto, diversos trabalhos demonstram que o desempenho tanto da FBN, quanto do melhor aproveitamento da adubação nitrogenada via solo, podem ser diretamente influenciados pela aplicação de Mo (ROCHA et al., 2011; ROSSI et al., 2012; ALMEIDA et al., 2013; LOPES et al., 2014; MATOSO; KUSDRA, 2014).

As aplicações deste micronutriente podem influenciar na produtividade da cultura, por meio do aumento da FBN pela maior atividade da enzima nitrogenase, assim como na assimilação do N do solo, sendo cofator da enzima nitrato redutase (ALMEIDA et al., 2013).

O comportamento do molibdênio nos solos ácidos é semelhante ao fosforo, para ambos à medida que o pH decresce, a disponibilidade dos dois nutrientes diminui. O Mo é encontrado predominantemente como ânion molibdato (MoO_4^{2-}). Neste tipo de solo o molibdato pode ser fator limitante ao metabolismo do N, por tornar-se pouco disponível à absorção pelas plantas, pois realiza ligações aos argilominerais e aos óxidos de ferro e alumínio, sendo desta forma, a disponibilidade de Mo nos solos dependente do pH, sendo que nos solos alcalinos ocorre disponibilização do molibdato por substituição entre ele e o grupamento carboxil disponibilizado a partir da calagem (BARROW, 1970; CAMARGO, 2006).

Trabalhos têm demonstrado que mesmo em condições onde o pH proporcione disponibilidade de Mo (solos com pH elevado), ocorre efeito da aplicação adicional do micronutriente, por exemplo, pH 5,9 (PESSOA et al., 2001), 5,8 (PIRES et al., 2004) e 6,1 (MATOSO; KUSDRA, 2014), demonstrando o aumento da capacidade metabólica da planta com relação ao N quando realizadas suplementações molíbdicas.

O Mo do solo é absorvido pelas raízes da planta na forma do íon molibdato (MoO_4^{2-}) (MENGEL; KIRBY, 1987). Na planta atua em vários tipos de molibdoenzimas (Mo-enzimas), podem estar envolvidas: no catabolismo de purinas (xantina deidrogenase/oxidase), no metabolismo do enxofre (sulfito oxidase), na síntese de ácido abscísico (ABA), e ácido indol-3 acético (aldeído oxidase), na fixação do N (nitrogenase) e na redução e assimilação do N (nitrato redutase). As duas últimas são as mais importantes para o metabolismo do N na planta (KAISER et al., 2005).

Na nitrogenase o Mo é constituinte de uma molibdênio-ferro-proteína (MoFe-proteína), a qual recebe elétrons da ferro-proteína (Fe proteína), e que contém o cofator da enzima, FeMoco (NUNES; RAIMONDI; NIEDWIESKI, 2003; REIS; TEIXEIRA, 2005), onde o N_2 é reduzido a amônia. Este complexo enzimático está situado dentro do nódulo, nas bactérias, é responsável pela quebra da tríplice ligação do N_2 , formando duas moléculas de amônia (NH_3) (ALMEIDA et al., 2013). Para que a nitrogenase consiga efetivar o processo de quebra do N_2 , uma grande quantidade de fotossintatos é exigida da planta, pois, para cada N_2 , 16 ATPs (adenosina trifosfato) são requeridos (REIS; TEIXEIRA, 2005).

A outra enzima onde o Mo atua como cofator é a nitrato redutase (NR), que é formada por duas unidades idênticas, compostas por três grupos prostéticos: FAD (flavina adenina dinucleotídeo), heme e um complexo molibdopterina, formado entre o Mo e uma molécula orgânica denominada pterina (CAMPBELL, 1999). Este complexo é responsável pela última transferência de elétrons advindos do NAD(P)H antes da assimilação do NO_3^- que é reduzido a NO_2^- . Sendo posteriormente transformado em NH_4^+ pela atividade da enzima nitrito redutase (SOUZA; FERNANDES, 2006). Todo este processo consome o equivalente a 12 ATPs para cada unidade de N (BLOOM; SUKRAPANNA; WARNER, 1992).

A nitrato redutase esta presente em todos os vegetais com a função de reduzir o nitrato absorvido do solo em nitrito, que posteriormente será assimilado em compostos úteis a planta, o aumento da atividade desta melhora a utilização do N presente nos solos. Em vegetais que se beneficiam da FBN também ocorre o suprimento de N através da nitrogenase, neste caso a nitrato redutase atua complementarmente em períodos onde a atividade da nitrogenase é baixa, em plantas que realizam simbiose, principalmente no início do ciclo da cultura, onde a planta ainda está estabelecendo a simbiose ou período de florescimento e frutificação (FAGAN et al., 2007).

Atualmente, várias pesquisas demonstram resultados positivos ao uso do Mo em plantas de interesse comercial, visando principalmente aumentar a atividade das enzimas e, também, estender o tempo de atividade destas, já que a tendência das enzimas, normalmente, é apresentar queda de atividade após o florescimento, (ALMEIDA et al., 2013). Tal efeito, segundo Bredemeier e Mundstock (2000) ocorre pela remobilização do N foliar que foi armazenado nos períodos anteriores.

Como resposta a aplicação de Mo, ocorre um incremento das taxas de atividade de ambas as enzimas, assim como o prolongamento do período de atividade destas (LOPES et al., 2014; MATOSO; KUSDRA, 2014) , repercutindo em incremento de produtividade para as culturas, ao final do ciclo do feijoeiro uma produtividade de 3,2 vezes superior a plantas sem uso de Mo (PESSOA et al., 2001). Para a cultura da soja Gelain et al. (2011) observaram o mesmo comportamento quanto a aumento de produção perante a aplicação do micronutriente.

No entanto, existem respostas variáveis das diferentes espécies às aplicações do nutriente. Diversos fatores podem influenciar na efetividade da aplicação do nutriente, entre eles, o método de aplicação, a fonte, a época e as doses utilizadas.

Ao comparar o método de aplicação foliar e via peletização de semente, Fullin et al. (1999) constataram superioridade na produção de grãos nos tratamentos por via foliar. Quando analisadas as fontes de Mo, molibdato de sódio e molibdato de amônio em aplicação foliar em feijoeiro, Silva et al., (2003) observaram pouca diferença quanto a componentes de rendimento, Matoso e Kusdra (2014) não obtiveram diferença no acúmulo de N e no crescimento de planta, no entanto, o molibdato de amônio se mostrou a melhor fonte para elevar a massa de nódulos formados por rizóbios nativos.

Quanto às dosagens aplicadas, via foliar, em leguminosas, a dose de 80 g ha⁻¹ tem apresentado resultados positivos, com relação ao aumento do número de vagens por planta (ARAUJO et al., 2009), elevando a produtividade (PIRES et al., 2004), e no aumento da eficiência em absorver N (BISCARO et al., 2011). Trabalhos com aplicação de Mo via semente também demonstram bons resultados, elevando os teores de N nas folhas e proporcionando maior acúmulo de matéria seca e área foliar (ALMEIDA et al., 2013).

Para a cultura do feijoeiro a época de melhor resposta de aplicação do Mo se encontra, aproximadamente aos 25 dias após a emergência das plântulas, em dose única ou parcelada. Esta fase da cultura representa o estágio V4, onde a planta apresenta o terceiro trifólio expandido (PIRES et al., 2004).

Sabe-se que plantas de soja que receberam aplicações foliares de Mo, produziram sementes com quantidades elevadas do micronutriente (3000% superior) (CAMPO; ARAUJO; HUNGRIA, 2009). Estas sementes com alto teor de Mo foram

comparadas a sementes com níveis normais do elemento, quanto à produção de novas plantas. As plantas geradas de sementes bioenriquecidas apresentaram maior conteúdo de N e Mo no grão e rendimentos mais elevados de N total e de grãos. Efeito similar é relatado por Almeida et al. (2013) para cultura do feijão. Comparando plantas de soja bioenriquecidas com Mo e plantas que receberam tratamento de semente com Mo, Milani et al. (2008) relatam que as plantas tratadas na semente com Mo apresentaram um número de nódulos reduzido, relacionando este resultado a um possível efeito tóxico do Mo as bactérias fixadoras, quando aplicado via peletização da semente.

As leguminosas de adubação verde assim como a soja e o feijão realizam FBN. Por apresentarem as mesmas estruturas responsáveis pela incorporação do N, o efeito provocado pela aplicação do Mo poderá potencializar a FBN, o acúmulo de N e conseqüentemente gerar maiores ganhos de matéria seca, proporcionando interferência positiva na nutrição das culturas em sucessão, assim como no funcionamento do metabolismo do N destas.

Diante disso, a aplicação de adubação mineral aos cultivos de interesse comercial pode ser consideravelmente reduzida, com o desenvolvimento de tecnologias que promovam o aumento da atividade do metabolismo do N nas plantas de adubação verde contribuindo para avanços tecnológicos e científicos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL, SOLO E CLIMA

O trabalho foi conduzido na área experimental do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus de Pato Branco. A área está situada em 26° 06' 59"S e 52° 40' 59"W, com altitude de 760 m.

O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho Distrófico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), com as seguintes características químicas na camada de 0 a 0,20 m: pH em CaCl₂= 5,1; P= 3,28 mg dm⁻³; K= 0,18 cmol_c dm⁻³; Ca= 5,40 cmol_c dm⁻³; Mg= 2,10 cmol_c dm⁻³; H+Al=4,61 cmol_c dm⁻³; SB=7,68 cmol_c dm⁻³; CTC= 12,29 cmol_c dm⁻³; V%= 62,49 ;MO= 37,53 g dm⁻³.

O clima do local é classificado como subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e invernos com geadas pouco frequentes, com temperatura média anual menor de 18,8 °C e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C (CAVIGLIONE et al., 2000). O período experimental foi do dia 22 de outubro de 2014 ao dia 25 de junho de 2015, com dados de precipitação e temperatura média expressos na Figura 01.

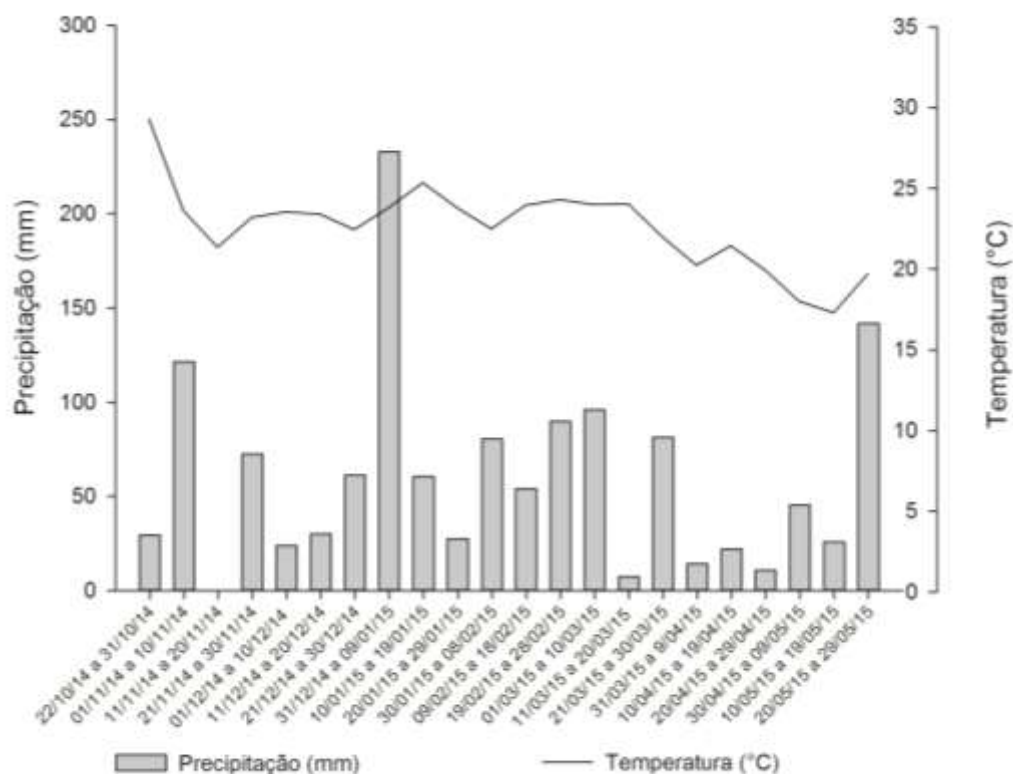


Figura 1. Precipitação (mm) e temperatura média (°C) no período experimental para a cidade de Pato Branco – Paraná, 2016.

Fonte: IAPAR.

3.2 PRODUÇÃO DOS ADUBOS VERDES *Crotalaria juncea* E *Canavalia ensiformis*

Para semeadura das espécies de adubação verde (cultivo 1) utilizou-se o esquema fatorial 2 x 4, sendo duas espécies: crotalária-juncea (*Crotalaria juncea*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e quatro doses de Mo (0, 40, 80, 120 g ha⁻¹), na forma de molibdato de sódio (Na₂MoO₄), aplicados via foliar, em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais (UE). Cada parcela foi constituída de uma área de 2,25 m de largura x 5,0 m de comprimento, totalizando 11,25 m².

A semeadura dos adubos verdes foi realizada no dia 22 de outubro de 2014. O solo da área experimental apresentava-se sem revolvimento há 2 anos. As linhas de semeadura foram sulcadas com uma semeadora de discos, no espaçamento

0,45 m entrelinhas e a semeadura foi realizada manualmente, sem adubação, sendo depositadas 8 sementes de feijão-de-porco e 30 sementes de crotalária-junceia por metro linear. Como os adubos verdes não foram submetidos a teste de germinação foi proporcionado estande superior ao desejado, seguido de raleio das plantas, a fim de estabelecer estande com 6 plantas para feijão-de-porco e 22 para crotalária-junceia por metro linear.

A aplicação de Mo nos adubos verdes foi realizada conforme metodologia proposta para o feijoeiro-comum (PIRES et al., 2005; ALBUQUERQUE et al., 2012; LOPES et al., 2014), quando as plantas apresentavam-se no estágio V4. Tomando-se como base a cultura do feijão-de-porco, no momento que esta espécie apresentou estágio referente as duas espécies de adubo verde receberam a aplicação, realizada com pulverizador manual com uso de bico tipo leque e adição de adjuvante a calda, com um volume de calda de 2 litros por parcela.

Aos 105 DAS foi realizada coleta para quantificação da produção de matéria seca, onde as espécies se encontravam em estágios de desenvolvimento distintos, enquanto a crotalária-junceia estava em estágio vegetativo, as plantas de feijão-de-porco estavam em fase reprodutiva com presença de vagens e início de enchimento de grãos.

As coletas foram realizadas com quadro metálico de 0,25 m², com duas amostras por parcela, pesadas e colocadas para secar em estufa a 60 °C até atingir massa constante, sendo posteriormente pesados novamente. Este material foi posteriormente moído em moinho tipo Willey, para determinação do teor total de N, pelo método de Kjeldahl, segundo Tedesco et al. (1995).

Após a quantificação dos adubos verdes, estes foram manejados por meio de um corte rente ao solo, sendo depositados inteiros dentro das parcelas experimentais (105 DAS). O corte foi realizado com roçadeira manual para evitar eventual contaminação entre tratamentos.

3.3 DECOMPOSIÇÃO DA MASSA E MINERALIZAÇÃO DO N DOS ADUBOS VERDES

O experimento foi disposto em arranjo fatorial 2 x 4, sendo duas espécies de adubo verde (*Crotalaria juncea* e *Canavalia ensiformis*) e quatro doses de Mo (0, 40,

80, 120 g ha⁻¹), em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. As parcelas foram subdivididas em dez épocas de coleta, aos 0, 7, 14, 26, 41, 61, 81, 100, 121, 140 dias após a instalação das bolsas de decomposição.

Foi utilizado o método de bolsas de decomposição (*'litter bags'*) (ESPINDOLA et al., 2006; ROSSI et al., 2013). Cada unidade experimental foi constituída por uma bolsa confeccionada em náilon com tela de 2 mm com dimensão de 0,20 x 0,20 m. Cada bolsa recebeu 30 g de material vegetal fresco cortado com 5 cm de comprimento. O material utilizado representava a real composição talo:folha de cada tratamento no momento do manejo (105 DAS).

As bolsas de decomposição foram fixadas com dois grampos metálicos para garantir o contato com o solo e melhor representação com o ambiente de decomposição natural.

Nos momentos das coletas os materiais receberam limpeza manual e foram acondicionados em embalagens de papel, seco em estufa a 60 °C até a obtenção de massa constante. As amostras foram pesadas, para quantificação da matéria seca, e moídas em moinho tipo Willey, para determinação do teor total de N, pelo método de Kjeldahl segundo Tedesco et al. (1995).

A partir dos resultados obtidos foram determinadas as taxas de decomposição da massa e de mineralização do N da massa remanescente, utilizando-se o modelo matemático exponencial negativo simples descrito por Thomas e Asakawa (1993), segundo a equação:

$$X = X_0 e^{-kt}$$

Onde:

X: Massa ou N final das amostras no tempo t;

X₀: massa ou o N inicial (t₀);

t: Tempo decorrido na experimentação;

k: Constante de decomposição da matéria seca ou mineralização de N das amostras.

Obtendo-se o valor de k, calculou-se o tempo de meia vida (T_{1/2}), tempo necessário para decomposição de 50% da massa ou da mineralização do N,

calculado a partir dos valores k , utilizando-se do modelo matemático de Paul e Clark (1996), onde: $T_{1/2} = \ln 0,5/k$.

3.4 PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO

Após o manejo dos adubos verdes (4 dias após o manejo), foi realizada no dia 09 de fevereiro de 2015 a semeadura do feijão (cultivo 2), cultivar IPR 'Tuiuí'. A cultivar utilizada está classificada no grupo preto, apresenta hábito de crescimento indeterminado tipo II e porte ereto, com ciclo médio de 88 dias e o potencial de rendimento em torno de 3.950 kg ha^{-1} , com massa média de mil sementes de 227 g (IAPAR, 2015).

O cultivo 2 foi conduzido no esquema fatorial $(2 \times 4) + 1$, sendo o feijoeiro semeado nas parcelas sob duas espécies de adubação verde, crotalária-juncea e feijão-de-porco, e quatro doses de Mo, mais um tratamento adicional (planejado anteriormente, deixando-se a parcela correspondente em pousio no momento da casualização), feijoeiro cultivado sem qualquer adubação (mineral, verde ou doses de Mo), em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, totalizando 36 UEs.

Para semeadura do feijoeiro não foi realizado nenhum método de preparo de solo. O espaçamento utilizado foi de 0,45 m entre linhas com 12 sementes por metro linear. O plantio foi realizado manualmente sem inoculação com estirpes fixadoras de N.

Na fase de enchimento de vagens foi realizada a coleta de material vegetal, o qual foi seco em estufa a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ até atingir massa constante. Este material foi, posteriormente pesado, moído em moinho tipo Willey, para determinação do teor total de N, pelo método de Kjeldahl, segundo Tedesco et al. (1995).

A colheita foi realizada manualmente no estágio de maturidade fisiológica, no dia 14 de maio de 2015, com 94 DAS e a trilha, mecanicamente dentro de cada parcela. A produtividade foi estimada nos grãos colhidos nas três linhas centrais da parcela, calculada com ajuste da umidade para 13%. Na linha central foi realizada a avaliação dos componentes de rendimento da cultura, em dez plantas selecionadas ao acaso, foram avaliados os seguintes parâmetros: Número de vagens por planta;

Número de grãos desenvolvidos por vagem; Número de grãos desenvolvidos por planta e massa de 100 grãos.

3.5 ATIVIDADE DA NITRATO REDUTASE

A coleta das amostras para a análise da atividade da nitrato redutase (NR, EC 1.6.6.1) *in vivo* foi realizada nos adubos verdes aos 90 DAS. O ensaio foi realizado em esquema fatorial 2 x 4, sendo duas espécies de adubos verdes (*Crotalaria juncea* e *Canavalia ensiformis*) em função de quatro doses de Mo (0, 40, 80 e 120 g ha⁻¹), em delineamento inteiramente casualizado com três repetições.

O ensaio da atividade enzimática no feijoeiro-comum foi realizado aos 66 DAS, realizado em esquema fatorial (2 x 4) + 1, sendo o feijoeiro produzido sobre duas espécies de adubos verdes que receberam aplicações de quatro doses de Mo (0, 40, 80 e 120 g ha⁻¹) e uma testemunha adicional de feijoeiro produzido sem qualquer adubação em delineamento inteiramente casualizado com três repetições, totalizando 27 UEs.

As amostras foliares do terço médio foram coletadas no início da manhã e acondicionadas em caixa de isopor com gelo (TOLETO et al. 2010). As análises seguiram a metodologia proposta por Jaworski (1971), com adaptações.

As amostras foram cortados em pequenos pedaços (2 mm), aproximadamente 0,6 g de cada amostra foram pesados e adicionados em tubos de ensaios juntamente com 5 mL de solução de nitrato de potássio em tampão fosfato de potássio 0,2 M (pH 7,5). Em seguida as amostras, foram mantidas em banho-maria a 37 °C por 30 minutos na ausência de luz. Após este período foi retirado 1 mL do conteúdo da solução e adicionados 4 mL o reagente de nitrito, aguardou-se 15 minutos para estabilização da reação, e então realizada a leitura em espectrofotômetro a 540 nm. A atividade da nitrato redutase foi obtida em $\mu\text{mol NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de MF (matéria fresca de folhas).

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância. Quando observada interação entre doses de Mo e espécies, realizou-se a análise de regressão polinomial, sendo os modelos selecionados pelo critério do maior r^2 e a significância ($p < 0,05$) dos parâmetros da equação. Para as avaliações que constavam de testemunha, quando observada diferença significativa entre médias de tratamentos e testemunha, foram comparados pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$). Utilizou-se o software ASSISTAT 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EFEITO DA APLICAÇÃO DO MOLIBDÊNIO NOS ADUBOS VERDES

Ao avaliar o acúmulo de matéria seca (MS) dos adubos verdes foi observada a interação entre espécie e doses de Mo (APÊNDICE A). Para crotalária-juncea (MSc) a dose de 120 g ha⁻¹ resultou na maior resposta (34,01 t ha⁻¹), apresentando ajuste linear dos dados, com elevação de 20% no acúmulo de MS entre a dose 0 e a 120 g ha⁻¹. O feijão-de-porco apresentou comportamento quadrático negativo, com ponto de mínima em 77,33 g ha⁻¹, gerando nesta dose acúmulo de 10,99 t ha⁻¹ de MS.

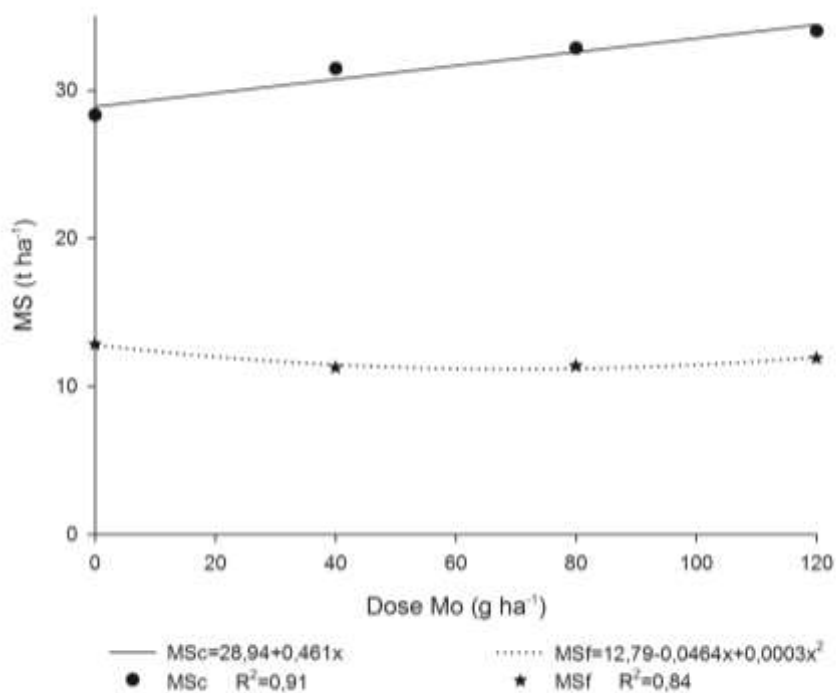


Figura 2. Acúmulo de matéria seca (t ha⁻¹) em espécies de adubação verde sob doses de molibdênio. UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016.

Na literatura, não existem relatos de estudos da aplicação de Mo para culturas de adubação verde. No entanto, acredita-se que apresentem a mesma ação de estímulo da atividade enzimática que nas demais leguminosas que apresentam associação à bactérias fixadoras de N relatadas até o presente momento (MATOSO; KUSDRA, 2014; BERTOLDO et al., 2015).

Para todas as doses estudadas, observou-se superioridade quanto ao acúmulo de matéria seca da crotalária-juncea quando comparada ao feijão-de-porco.

Mesmo sem referências para comparação na mesma região de estudo, os resultados foram semelhantes aos observados por Vargas et al. (2011), em Viçosa – MG, onde obtiveram 30,6 e 19,94 t ha⁻¹ para crotalária-juncea e feijão-de-porco respectivamente, com ciclo de cultivo semelhante ao presente experimento (118 DAS). No entanto, o acúmulo de matéria seca pode apresentar grande amplitude dependendo do manejo empregado, dos fatores climáticos e da época de semeadura e corte do material.

De modo geral, os valores apresentados de acúmulo de MS são superiores aos descritos na literatura. Teodoro et al. (2011), em Minas Gerais, obtiveram 13,9 e 8,7 t ha⁻¹ para crotalária-juncea e feijão-de-porco, respectivamente. Valores diferentes dos observados por Carneiro et al. (2008), em Goiás, que obtiveram 7,6 e 14,6 t ha⁻¹, enquanto Cavalcante et al. (2012), em Alagoas, obtiveram produção de 3 t ha⁻¹ para ambas as espécies. Dados estes, inferiores ao obtido no presente experimento, isto confirma o alto potencial de acúmulo de matéria seca e boa adaptação destes materiais na região do sudoeste paranaense.

As duas espécies apresentaram comportamentos distintos, diferindo fenologicamente no momento do manejo (105 DAS), não sendo possível uma compatibilização dos estágios de desenvolvimento no momento do manejo. O feijão apresentava-se em estágio reprodutivo com floração e formação de vagens no momento do manejo. No entanto a crotalária-juncea, ao contrário do feijão-de-porco, apresenta resposta expressiva ao fotoperíodo, sendo classificada como uma planta de dias curtos. Não foi exposta a um fotoperíodo que propiciasse indução do florescimento, o qual para esta espécie é de 13,6 horas (SANTOS; CAMPELO JUNIOR, 2003), atingido em Pato Branco após a primeira quinzena de fevereiro (MAGIERO, 2009), período este posterior a data de manejo das espécies.

Desta forma, sem a indução ao florescimento a espécie crotalária-juncea permaneceu todo o período experimental investindo em produção vegetativa, por este motivo o elevado acúmulo de massa seca e a falta de floração da espécie, fato também relatado por Alcântara et al. (2000), Santos e Campelo Júnior (2003) e Leal et al. (2012).

As doses de Mo interferiram positivamente no acúmulo de matéria seca da crotalária-juncea, no entanto não foi obtido o ponto de máximo acúmulo de MS, influenciado pelas doses de Mo, para a espécie. O mesmo comportamento foi

observado por Matoso e Kusdra (2014) para o acúmulo de matéria seca do feijoeiro-comum submetido a doses de Mo na semente.

No entanto, o feijão-de-porco respondeu distintamente as doses de Mo, a espécie apresenta semente grande quando comparado a crotalária-juncea e possivelmente, as sementes já apresentavam quantidades de Mo consideráveis na sua constituição, embora não tenham sido realizadas análises para confirmação. Em trabalho realizado por Kubota et al. (2008), os autores constataram que sementes de feijoeiro com altos teores de Mo podem gerar plantas que não apresentem resposta à aplicação complementar deste elemento, fato também evidenciado por Almeida et al. (2013) ao avaliarem a resposta de suplementação via solo a sementes de feijoeiro-comum anteriormente enriquecidas com o micronutriente.

Além do apontado, a falta de resposta da espécie ao Mo pode estar relacionada com a época de aplicação, às doses e ao método de aplicação do micronutriente, as quais foram realizadas conforme recomendação para o feijoeiro-comum.

Houve efeito da interação entre espécies e doses de Mo sobre o acúmulo de N (Apêndice A). A crotalária-juncea respondeu de forma positiva linear às doses de Mo quanto ao acúmulo de N (N_c), atingindo o valor de 545 kg N ha^{-1} na maior dose de Mo aplicada (Figura 3). Não se obteve ajuste de modelos da regressão para a espécie feijão-de-porco quanto ao acúmulo de N.

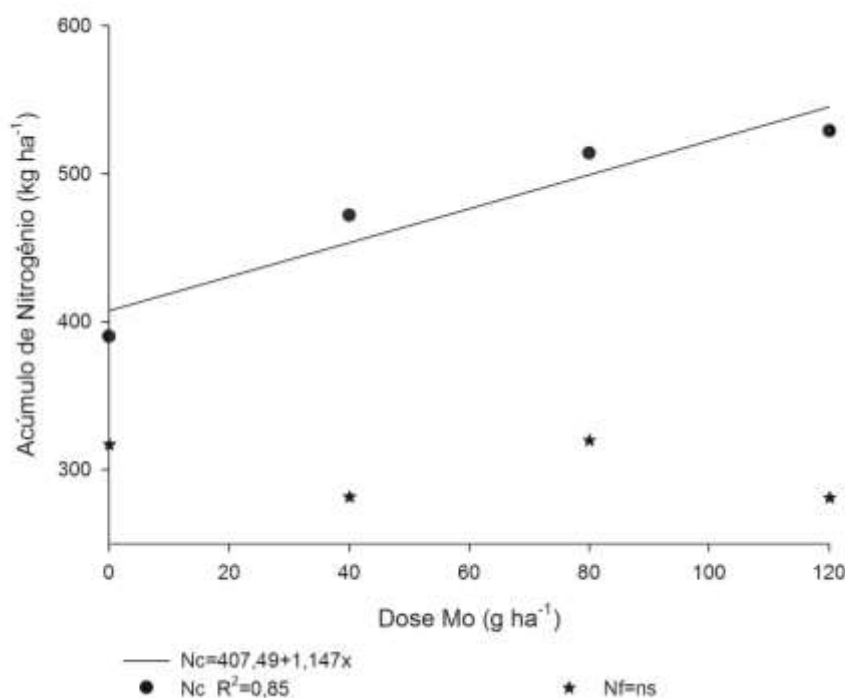


Figura 3. Acúmulo de nitrogênio (kg ha⁻¹) em espécies de adubação verde sob doses de molibdênio. UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016.

Para todas as doses analisadas o acúmulo de N da crotalária-juncea foi superior ao do feijão-de-porco. Este fato é devido ao elevado acúmulo de MS da espécie, mesmo apresentando teor de N inferior ao do feijão-de-porco, aproximadamente 1,5 e 2,4% respectivamente, resultou em média, um acúmulo de N de 477,69 e 294,27 kg ha⁻¹.

Resposta linear semelhante à obtida para crotalária-juncea foram relatadas por Pessoa et al. (2000) em plantas de feijoeiro nutridas com Mo. Segundo os autores, possivelmente, por promover a melhoria das enzimas nitrogenase (FBN) e nitrato redutase (redução de N absorvido do solo), o que foi comprovado pelos maiores teores de N-total e de N-orgânico nas folhas e nos grãos de plantas que receberam aplicação de Mo. O mesmo foi observado por Almeida et al. (2013), principalmente ao avaliarem a quantificação de N derivado da atmosfera em plantas de feijão originadas de sementes com altas e baixas quantidades de Mo, resultando em N-FBN de 61 e 17%, respectivamente.

O comportamento do feijão-de-porco pode ser explicado pelo possível teor elevado de Mo nas sementes desta espécie. Desse modo, o fornecimento de Mo adicional torna-se não eficiente (ALMEIDA et al., 2013). Considerando-se esta

hipótese, as plantas estavam em seu máximo potencial metabólico quanto ao acúmulo de N referente à resposta ao Mo.

Para a cultura do feijoeiro-comum, o período de maior exigência e máxima velocidade de absorção é a época do florescimento (ANDRAUS, 2014). Supondo a mesma relação para as plantas de adubação verde, o feijão-de-porco se apresentava em estágio reprodutivo, ou seja, em seu período de máximo acúmulo potencial de N, enquanto a crotalária-juncea ainda se encontrava em estágio vegetativo, portanto com possibilidade de aumento nas quantidades observadas.

Independentemente do uso ou não de Mo, constata-se o alto potencial de acúmulo de massa e N para ambos os adubos verde. Para as presentes condições experimentais as quantidades de matéria seca e N podem ser potencializadas para a crotalária-juncea com o uso de doses de Mo via foliar.

4.2 DECOMPOSIÇÃO DA MASSA E MINERALIZAÇÃO DO N

A análise de variância indicou efeito da interação entre espécies e doses sobre a decomposição da massa e mineralização do N dos adubos verdes (APÊNDICE B).

A velocidade da decomposição e mineralização variaram de acordo com a espécie de adubo verde. O feijão-de-porco apresentou, de maneira geral, maior taxa de decomposição dos resíduos e mineralização do N, quando observadas as diferentes doses de Mo em relação à crotalária-juncea. Quando observada a constante de decomposição, constatam-se valores mais baixos para as doses 120 g ha⁻¹ para ambas as espécies, não tendo mesmo efeito para a mineralização do N (Tabela 1).

Tabela 1. Modelo exponencial, R^2 , relação C/N, constante de decomposição (k) e tempo de meia vida ($T_{1/2}$), da decomposição da massa e da mineralização do N dos adubos verdes sob doses de molibdênio presentes nas bolsas de decomposição. UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016.

| | Tratamento | Modelo exponencial | R^2 | C/N | k (g g ⁻¹) | $T_{1/2}$ (dias) |
|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|-------|-------|------------------------|------------------|
| Decomposição da massa | Cj 0 g ha ⁻¹ | 1.877,9e ^{-0,0063t} | 0,90 | 33,06 | 0,0063 | 110 |
| | Cj 40 g ha ⁻¹ | 1.928,63e ^{-0,0054t} | 0,80 | 21,73 | 0,0054 | 128 |
| | Cj 80 g ha ⁻¹ | 1.925,006e ^{-0,0068t} | 0,89 | 22,86 | 0,0068 | 101 |
| | Cj 120 g ha ⁻¹ | 1.757,83e ^{-0,0045t} | 0,90 | 25,80 | 0,0045 | 154 |
| | Fp 0 g ha ⁻¹ | 1.465,06e ^{-0,0078t} | 0,84 | 19,32 | 0,0078 | 89 |
| | Fp 40 g ha ⁻¹ | 1.419,05e ^{-0,0074t} | 0,91 | 18,02 | 0,0074 | 94 |
| | Fp 80 g ha ⁻¹ | 1.533,66e ^{-0,0063t} | 0,93 | 25,64 | 0,0063 | 110 |
| | Fp 120 g ha ⁻¹ | 1.449,64e ^{-0,0063t} | 0,98 | 18,81 | 0,0055 | 126 |
| Mineralização do N | Cj 0 g ha ⁻¹ | 23,92e ^{-0,007t} | 0,87 | 33,06 | 0,0070 | 99 |
| | Cj 40 g ha ⁻¹ | 28,24e ^{-0,007t} | 0,75 | 21,73 | 0,0070 | 99 |
| | Cj 80 g ha ⁻¹ | 28,9e ^{-0,0092t} | 0,92 | 22,86 | 0,0092 | 75 |
| | Cj 120 g ha ⁻¹ | 23,64e ^{-0,0077t} | 0,71 | 25,80 | 0,0070 | 99 |
| | Fp 0 g ha ⁻¹ | 31,88e ^{-0,0096t} | 0,87 | 19,32 | 0,0096 | 72 |
| | Fp 40 g ha ⁻¹ | 31,76e ^{-0,0087t} | 0,81 | 18,02 | 0,0084 | 82 |
| | Fp 80 g ha ⁻¹ | 30,31e ^{-0,0069t} | 0,77 | 25,64 | 0,0069 | 100 |
| | Fp 120 g ha ⁻¹ | 32,656e ^{-0,008t} | 0,76 | 18,81 | 0,0080 | 87 |

Cj 0 g ha⁻¹: Crotalária-juncea sob a dose de 0 g ha⁻¹ de Mo; Cj 40 g ha⁻¹: Crotalária-juncea sob a dose de 40 g ha⁻¹ de Mo; Cj 80 g ha⁻¹: Crotalária-juncea sob a dose de 80 g ha⁻¹ de Mo; Cj 120 g ha⁻¹: Crotalária-juncea sob a dose de 120 g ha⁻¹ de Mo; Fp 0 g ha⁻¹: Feijão-de-porco sob a dose de 0 g ha⁻¹ de Mo; Fp 40 g ha⁻¹: Feijão-de-porco sob a dose de 40 g ha⁻¹ de Mo; Fp 80 g ha⁻¹: Feijão-de-porco sob a dose de 80 g ha⁻¹ de Mo; Fp 120 g ha⁻¹: Feijão-de-porco sob a dose de 120 g ha⁻¹ de Mo.

A velocidade de decomposição e mineralização esta relacionada com a variação da relação C/N das espécies. A crotalária-juncea apresentou valor superior (25,86) ao feijão-de-porco (20,44). Valores mais elevados para crotalária-juncea também foram observados por Carneiro et al. (2008) e Vargas et al. (2011).

Durante o desenvolvimento dos adubos verdes foi constatada a incidência de oídio (*Erysiphe cichoraceum*) na espécie crotalária-juncea, o mesmo fato foi observado por Timossi et al. (2011), o que pode ter contribuído para elevação da relação C/N da espécie. Constatou-se maior severidade nas parcelas na dose 0 g ha⁻¹ de Mo. Fato que causou acentuada desfolha das plantas, e com isso, a relação C/N destas parcelas foi influenciada pela maior relação talo:folha.

A relação C/N segundo Espindola et al. (2006) e Ribas et al. (2010), é um dos fatores que pode ser utilizado para inferir sobre as taxas de decomposição do material vegetal. A relação C/N exerce grande influência nos processos de

mineralização e imobilização. Quando a relação está perto de 25 ocorre equilíbrio entre estes dois processos, com valores abaixo destes há predomínio da mineralização, o que explica a decomposição de crotalaria-juncea mais lenta que o feijão-de-porco, como observado no presente experimento.

O processo mais lento de mineralização dos materiais com relação C/N mais elevada é devido à utilização do carbono orgânico pelos microrganismos decompositores como fonte de energia (JANSSENS et al., 2010). Em materiais com relação C/N mais elevada e com maior lignificação, os microrganismos decompositores não conseguem quebrar facilmente a estrutura para ter acesso ao carbono destes tecidos, como resultado disso a decomposição e mineralização se tornam mais lentas (MANSSON; FALKENGREN-GRERUP, 2003; BONANOMI et al., 2013).

A relação C/N se mostrou preditiva quanto às taxas de mineralização de N em trabalhos de Gama-Rodrigues, Gama-Rodrigues e Brito (2007), Acosta et al. (2014) e Martins et al. (2014) onde observaram que quanto menor a relação C/N, maior a mineralização do N por ação dos microrganismos decompositores. Desse modo, a relação C/N expressa o grau de recalcitrância do substrato no processo de decomposição (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES; BRITO, 2007). Como observado comparando os valores médios de C/N das espécies. O teor de N total mais elevado do feijão-de-porco ocasiona relação C/N inferior, confere decomposição mais acelerada dos resíduos e, por consequência, mineralização de N para o solo (JANSSENS et al., 2010; BONANOMI et al., 2013).

A mineralização de metade do N ($T_{1/2}$ N) foi mais rápida que a decomposição de 50% da matéria seca ($T_{1/2}$ MS), assim como observado por Espindola et al. (2006) e Ribas et al. (2010).

Observando os resultados constata-se que o comportamento dos dados indica que houve decomposição mais lenta dos resíduos na dose mais elevada de Mo para ambos os adubos verdes ($T_{1/2}$ da massa). No entanto, para a mineralização do N não se estabeleceu o mesmo padrão. O tempo de meia vida ($T_{1/2}$) da massa foi mais elevado para a crotalaria-juncea em relação ao feijão-de-porco para a maioria das doses avaliadas, em média 123 dias para crotalaria-juncea e 104 dias para feijão-de-porco. Sendo superior aos dados de Carneiro et al. (2008), obtidos em Goiás, 71 e 61 dias para crotalaria-juncea e feijão-de-porco, respectivamente. Soratto et al. (2012) em São Paulo, observaram $T_{1/2}$ da massa para crotalaria-juncea

aos 65 dias. No entanto, Torres, Pereira e Fabian (2008), em Minas Gerais, obtiveram para a crotalária-juncea entre 94 e 151 dias, em diferentes anos de avaliação.

Houve pequena diferença entre espécies e dose para $T_{1/2}$ do N. Observaram-se em média 90 dias para a crotalária-juncea e 87 dias para o feijão-de-porco. Neste período, para as doses adicionadas as bolsas de decomposição, as espécies disponibilizaram em média 13,08 e 15,82 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Extrapolando os valores para a massa aportada ao solo pelos adubos verdes, os materiais mineralizaram 238,84 e 147,14 kg ha⁻¹ de N, para crotalária-juncea e feijão-de-porco, respectivamente, durante este período.

O $T_{1/2}$ do N observado é superior aos relatados até o presente momento. Gama-Rodrigues, Gama-Rodrigues e Brito (2007), obtiveram $T_{1/2}$ do N de 43 dias para o feijão-de-porco. Torres et al. (2005) obtiveram entre 22 e 25 dias para a crotalária-juncea, mesmos 25 dias observados por Soratto et al. (2012).

Além da relação C/N outro fator que exerce grande influência sobre a decomposição e mineralização do material vegetal são os fatores climáticos. Entre eles precipitação e temperatura (ESPINDOLA et al., 2006). A diferença nos $T_{1/2}$ e k da massa e do N entre os dados obtidos e os relatados até o presente momento devem-se, principalmente, aos locais experimentais, os quais apresentam climas distintos. Outros fatores que diferiram, entre os trabalhos comparados ao presente experimento, e que podem interferir na decomposição e mineralização são: as quantidades de material aportado ao solo; a malha utilizada e as metodologias de avaliação da decomposição e mineralização, fatos estes que podem influenciar as taxas de decomposição da massa e mineralização do N.

Locais mais quentes e úmidos propiciam o melhor ambiente de desenvolvimento para os microrganismos decompositores, acelerando desta forma os processos de decomposição e mineralização dos nutrientes do material vegetal (TORRES et al., 2005; ESPINDOLA et al., 2006; ROSSI et al., 2013; ACOSTA et al., 2014). Variações causadas por fatores climáticos e ambientais também foram constatadas em trabalho de Torres et al. (2005) e Marcelo, Corá e Fernandes, (2012), onde, em anos com maior precipitação e temperatura os processos de mineralização do N e decomposição da massa foram acelerados.

A produção e a permanência de matéria seca sobre o solo são requisitos a adoção de espécies em sistemas de produção conservacionistas. De modo que,

com as constantes de decomposição e os tempos de meia vida observados, ambas as espécies podem ser utilizadas com o intuito de proporcionar cobertura do solo por longos períodos.

O uso de ambos os adubos verdes proporciona cobertura de solo por períodos prolongados, associados a lenta mineralização do N dos tecidos, podendo ser utilizada para adubação de sistemas de produção. Por apresentar lenta mineralização deve-se atentar ao controle da quantidade de matéria seca adicionada ou adição via outra fonte, no intuito de programar o correto suprimento de N a cultura de interesse comercial.

4.3 PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO EM RESPOSTA À ADUBOS VERDES CULTIVADOS COM DIFERENTES DOSES DE MOLIBDÊNIO

O uso de espécies de adubação verde sob doses de Mo para a adubação do feijoeiro-comum não apresentou interação entre os fatores doses e espécies, nem para os fatores isolados, no entanto proporcionou diferença significativa na análise de variância entre fatores e testemunha para as variáveis: número de vagens por planta e número de grãos desenvolvidos por planta. No entanto, o incremento gerado pela diferença entre estas variáveis não apresentou magnitude suficiente para diferir estatisticamente em produtividade do feijoeiro-comum (APENDICE C).

A quantidade média de N acumulada pelo feijoeiro-comum apesar de não diferir estatisticamente foi de 42 kg N ha⁻¹ (avaliação realizada com planta inteira). Araújo e Teixeira (2012) avaliando 64 genótipos de feijoeiros obtiveram valores médios de 20 kg N ha⁻¹, entretanto, os autores relatam a exportação de cerca de 80% do N pelos grãos. No entanto, os valores são próximos a média obtida por Bernardes et al. (2015), que foi de 56,07 kg N ha⁻¹ coletadas em pleno florescimento.

As vagens continham em média 5 a 6 grãos, dado condizente com os 6 grãos relatados por Peroni Ferrari (2011). Segundo Andrade et al. (1998), esta é uma característica varietal, recebendo pouca influencia do ambiente. Quanto a massa média de 100 grãos foi observados valores médios de 20,8 g, sendo 10% abaixo do normal da cultivar, que é de 22,7 g (PERONI FERRARI, 2011; IAPAR, 2015).

A produtividade média obtida no estudo foi de 1.917 kg ha⁻¹, valor inferior ao máximo potencial produtivo do cultivar, que se situa em 3.950 kg ha⁻¹ (IAPAR, 2015). No entanto, o valor observado é superior à média paranaense do ano agrícola 2013/2014, que foi de 1.565 kg ha⁻¹ (SEAB/DERAL, 2014). A média paranaense de 21 ensaios com esta cultivar atingiu média de 2.570 kg ha⁻¹ (PERONI FERRARI, 2011). Comprovando a potencialidade do presente cultivar, Yagi et al. (2015) analisando a adubação nitrogenada ou a inoculação, obtiveram produtividade que variou entre 2.200 e 3.200 kg ha⁻¹ no estado do Paraná.

Para a variável número de vagens por planta, os tratamentos que diferiram da testemunha sem adubação foram crotalária-junceia 40 g ha⁻¹ de Mo, feijão-de-porco 40 e 80 g ha⁻¹ de Mo (Tabela 2). Ao avaliar o feijoeiro-comum com aplicações de Mo, Pessoa et al. (2001), obtiveram aumento no número de vagens de 1,75 vezes, com comportamento quadrático, obtiveram as melhores respostas nas doses de 40 e 80 g ha⁻¹ de Mo, resultados similares aos encontrados no presente estudo. Albuquerque et al. (2012) também evidenciaram o aumento do número de vagens, quando da aplicação de Mo via foliar.

Quanto ao número de grãos desenvolvidos por planta, o único tratamento que diferiu foi crotalária-junceia na dose 40 g ha⁻¹ de Mo, sendo os demais tratamentos semelhantes à testemunha.

Tabela 2. Número de vagens e número de grãos desenvolvidos por planta de feijoeiro cultivado sobre dois adubos verdes cultivados com diferentes doses de molibdênio em comparação com a testemunha. UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016.

| Tratamentos | Número de vagens por planta | Número de grãos desenvolvidos por planta |
|-------------------------------|-----------------------------|--|
| Testemunha | 7,62 | 44,62 |
| Feijoeiro_Crotalária 0 | 9,87 | 65,37 |
| Feijoeiro_Crotalária 40 | 15,62* | 86,37* |
| Feijoeiro_Crotalária 80 | 11,50 | 63,62 |
| Feijoeiro_Crotalária 120 | 10,00 | 58,50 |
| Feijoeiro_Feijão-de-porco 0 | 9,25 | 49,25 |
| Feijoeiro_Feijão-de-porco 40 | 13,00* | 63,75 |
| Feijoeiro_Feijão-de-porco 80 | 13,00* | 70,50 |
| Feijoeiro_Feijão-de-porco 120 | 11,25 | 58,00 |
| CV(%) | 17,79 | 20,99 |
| DMS | 4,04 | 26,41 |

Médias seguidas de * na coluna diferem da testemunha a 5% de probabilidade de erro pelo teste Dunnett.

A precipitação acumulada durante o ciclo da cultura foi de 442 mm, no entanto, com distribuição desuniforme ao longo do período. A precipitação do mês de abril, o qual compreende a fase de florescimento e enchimento de grãos foi de 48 mm, quantidade inferior a recomendada por Pereira et al. (2014) como média mínima por mês. Fator que pode ter influenciado a falta de efeito sobre a produtividade.

O consumo desta espécie tem variação de 300 a 600 mm ao longo das fases de desenvolvimento, consumindo, em média, 3 a 4 mm por dia e necessitando de uma disponibilidade mínima de 100 mm mensais (PEREIRA et al., 2014). Ocorre uma variação na necessidade hídrica da espécie ao longo do cultivo, sendo a fase de florescimento a de maior necessidade, quando comparada a vegetativa e ao final de ciclo (MENDONÇA et al., 2007).

No caso do feijoeiro, a deficiência hídrica no estágio de floração provoca, queda de flores, assim como de vagens (FANCELLI, 1994; BACK, 2001), reduzindo a produção em até 30%, podendo chegar a 40% (CALVACHE; REICHARDT, 1996; CALVACHE et al., 1997).

Queda de produtividade do feijoeiro em déficit hídrico após o período de floração foi observado por Oliveira et al. (2002), obtendo produtividade média de 436 kg ha⁻¹. No presente estudo o período sem precipitação chegou há 11 dias. Trabalhos demonstram que os déficits hídricos por período de 14, 17 e 20 dias, causam redução do rendimento de 20, 38 e 52%, respectivamente (BACK, 2001), no entanto possivelmente as boas condições do solo, podem ter mantido a produtividade geral elevada, mesmo assim, não atingindo o teto produtivo do cultivar.

O período de maior necessidade de N pela cultura do feijoeiro está entre o florescimento e o enchimento de vagens (PESSOA et al., 2001; ALMEIDA et al., 2013). As quantidades de N disponibilizadas pelos adubos verdes variaram entre 294,27 kg N ha⁻¹ para feijão-de-porco e 447,69 kg N ha⁻¹ para crotalária-junceia, sendo disponibilizados em torno de 147,13 e 238,84 kg ha⁻¹, respectivamente até os 87 e 90 dias, (segundo análise de mineralização no N). Neste sentido, os adubos verdes forneceram o N suficiente para suprir a demanda de N do feijoeiro, já que as usuais doses recomendadas para a cultura são de 60 kg N ha⁻¹ (STONE; MOREIRA,

2001), 100 kg N ha⁻¹ (SORATTO et al., 2001; VIEIRA; JÚNIOR; BORÉM, 2006) ou 130 kg N ha⁻¹ (FERNANDES; GUERA; ARAUJO, 2015).

A falta de disponibilidade hídrica compromete a movimentação dos nutrientes no solo, a absorção e translocação de nutrientes na planta. Grande parte do N disponível no solo chega até as raízes através do fluxo de massa, e este decresce quando a umidade do solo cai, influenciando conseqüentemente a absorção de N pelas plantas (STONE; LIBARDI; REICHARDT, 1985).

Quando o fluxo de nitrato é afetado, ocorre a redução na síntese e a atividade da nitrato redutase, a qual é regulada principalmente pela presença de substrato (MARSCHNER, 1995; BREDEMEIER, MUNDSTOCK, 2000; ANDRADE NETO, 2005). A cultura do feijoeiro é fortemente influenciada pela falta de água por apresentar sistema radicular pouco desenvolvido, explorando uma faixa pequena de solo (SILVA et ., 2003). Estes fatores associados podem ter prejudicado a absorção de N mineralizado pelos adubos verdes nesta fase do ciclo.

Concomitantemente a isso o déficit hídrico também acarreta a queda da transpiração nas plantas, ocasionando o fechamento estomático, diminuindo a fotossíntese, e a produção de esqueletos carbônicos, o que afeta diretamente a produtividade e o peso de 100 grãos (FRANÇOIS, 2012), como observado no presente estudo.

Desta forma, mesmo ocorrendo diferentes taxas de mineralização/decomposição do material vegetal depositado sobre o solo, como já constatado, não foi observada resposta significativa para produtividade do feijoeiro.

4.4 ATIVIDADE DA NITRATO REDUTASE

Na avaliação da nitrato redutase (NR) nos adubos verdes, verificou-se interação entre as espécies e as doses de Mo (APÊNDICE D). Ambas as espécies apresentaram comportamento quadrático em função das doses de Mo aplicadas (Figura 4). No entanto, em sentidos opostos, o feijão-de-porco apresentou um efeito negativo. Enquanto que a crotalária-juncea apresentou efeito positivo, com ponto de máxima de 1,34 $\mu\text{mol NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ MF (matéria fresca) na dose correspondente a 71,12 g ha⁻¹ de Mo.

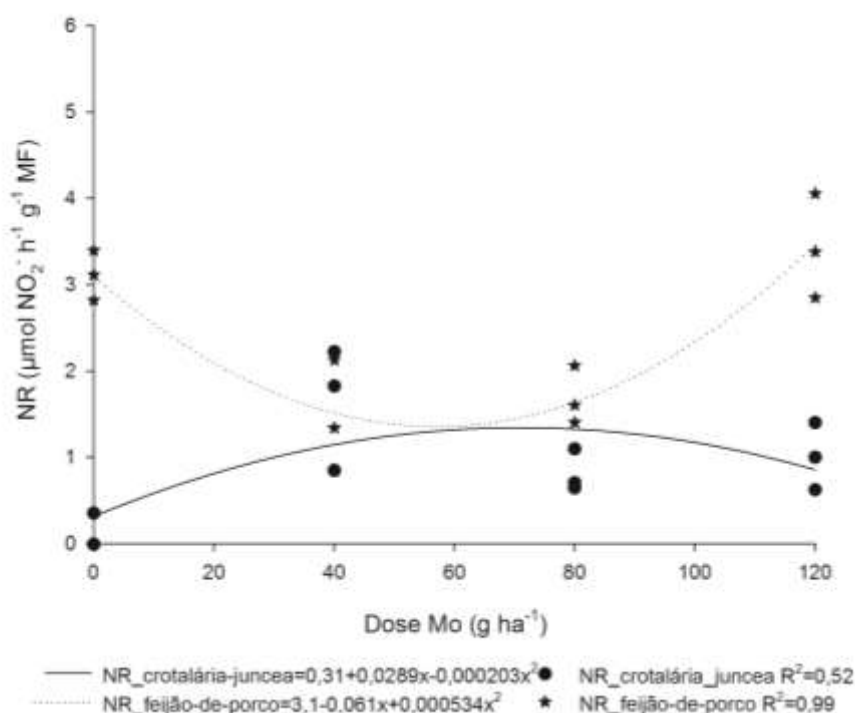


Figura 4. Atividade da Nitrato Redutase (NR) em adubos verdes sob doses de molibdênio aos 90 dias após a semeadura. UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016.

O comportamento dos adubos verdes quanto à atividade da nitrato redutase apresentou comportamento mais elevado para a espécie de feijão-de-porco para as doses de Mo avaliadas, exceto na dose 40 g ha⁻¹. Apresentando maior variação na atividade enzimática, entre as espécies, na maior e na menor dose (0 e 120 g ha⁻¹ de Mo).

Além da influencia das doses de Mo, o comportamento distinto entre ambas as espécies de adubos verdes pode ser devido à diferença entre estágios de desenvolvimento das espécies. O feijão-de-porco encontrava-se no período reprodutivo. No entanto, a crotalária-juncea se apresentava em estágio vegetativo.

Em plena fase vegetativa, a crotalária-juncea apresentou comportamento positivo quanto as doses de Mo, com 40 g ha⁻¹ resultando em atividade média 91% superior à observada na dose 0 g ha⁻¹, o que indica o efeito positivo quanto a elevação da atividade da NR em resposta a aplicação de molibdênio nesta espécie.

A síntese da nitrato redutase é induzida rapidamente na presença de substrato, no caso o nitrato (ALMEIDA et al., 2013), exceto quando ocorre limitação

da disponibilidade de Mo, por ser um dos constituintes desta enzima (BREDEMEIER; MUDSTOCK, 2000) o que possivelmente ocorreu na dose 0 g ha⁻¹.

O N esta presente em inúmeras biomoléculas, entre elas a clorofila (LIMA et al., 2001), garantindo a cor esverdeada as plantas. A clorofila é a responsável pela fotossíntese, e essa pela assimilação de carbono aos vegetais (BREDEMEIER; MUDSDTOCK, 2000). O N quando absorvido em quantidades satisfatórias acarreta em incremento de variáveis produtivas, como observada na relação da atividade de NR (uma das formas de assimilação de N) com o acúmulo de matéria seca.

Quando existe disponibilidade de Mo e presença de substrato, a síntese é induzida. Fato este proporcionado a partir do incremento da disponibilidade do micronutriente através das aplicações foliares, acarretando em aumento da absorção e síntese de nitrato (PESSOA et al., 2000; MATOSO; KUSDRA, 2014), que repercutiu em maior atividade enzimática, acúmulo de matéria seca (Figura 2) e N (Figura 3), com a elevação das doses de Mo. O uso de Mo também proporcionou incrementos em trabalhos de Kubota et al. (2008), Almeida et al. (2013) e Matoso e Kusdra (2014) quanto ao acúmulo de N.

Entretanto, o acúmulo de N foi mais elevado nas doses 80 e 120 g ha⁻¹ de Mo, apesar da atividade enzimática ter apresentado maior resposta na dose 40 g ha⁻¹. Supõe-se com isso que a FBN também tenha recebido incrementos com as doses de Mo, proporcionando um maior aporte de N atmosférico, assim como observado por Pessoa et al (2000).

No feijão-de-porco ocorreu comportamento quadrático negativo, com ponto de mínima com 57,18 g ha⁻¹ de Mo, referente a 1,35 $\mu\text{mol NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ MF, que resultou em menor atividade de absorção e incorporação do nitrato do solo. Segundo estudo realizado por Deckhard, Lambert e Hageman (1973), ao analisarem as correlações entre produtividade e atividade da NR, observaram correlações positivas, mas baixas, constatando que além da NR outros fatores estão ligados à produtividade ou no caso ao acúmulo de matéria seca.

Apesar do acúmulo de matéria seca (Figura 2), para crotalária-juncea, apresentar acréscimo linear as doses de Mo e a atividade da NR ter respondido de forma quadrática positiva. A quantidade de N no feijão-de-porco não apresentou ajuste de modelos de regressão, acredita-se que a assimilação de N para os tratamentos 40 e 80 g ha⁻¹ de Mo no feijão-de-porco e para as doses 80 e 120 g ha⁻¹ de Mo na crotalária-juncea foi realizada de outras formas, possivelmente, através da

atividade da nitrigenase e fixação biológica do N atmosférico (PESSOA et al., 2000).

Quando analisado o efeito das doses de Mo aplicadas nos adubos verdes sob a atividade da NR no feijoeiro, observou-se interação entre as espécies e doses (APÊNDICE E), respondendo de forma quadrática negativa para o feijoeiro cultivado sob ambos os adubos verdes (Figura 5).

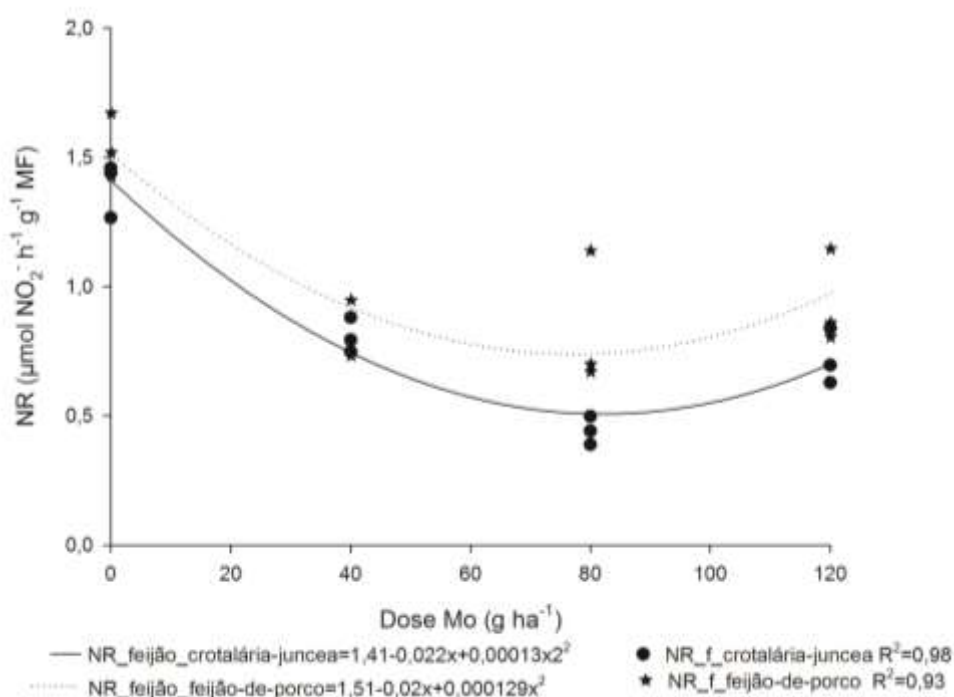


Figura 5. Atividade da Nitrato Redutase (NR) no feijoeiro-comum aos 66 dias após a semeadura após dois adubos verdes cultivados com diferentes doses de molibdênio. UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016.

No momento da coleta do material vegetal, as plantas de feijoeiro encontravam-se entre os estágios R7 e R8, segundo classificação de Dourado Neto e Fancelli (2000), entre o início da formação de vagens e o enchimento das primeiras vagens. Neste período, segundo levantamento de Bredemeier e Musdtock (2000) ocorre o maior período de requerimento de N pelas culturas, e na fase de enchimento de grãos se inicia o processo de queda de absorção e assimilação de nitrato e senescência de nódulos e, então, a planta passa a remobilizar N presente nos tecidos, para o enchimento de grãos. No entanto, segundo Almeida et al. (2013), a presença de Mo prolonga a atividade de ambas as enzimas.

A nitrato redutase, por ser uma enzima que tem a síntese induzida pela presença do substrato (MARSCHNER, 1995; BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000;

ANDRADE NETO, 2005), constata-se ao observar as diferentes doses, que o feijoeiro produzido sobre o feijão-de-porco, apresentou atividade enzimática superior a crotalária-juncea. Isso pode ter ocorrido pela mineralização mais acelerada do N presente no feijão-de-porco.

Avaliando o feijoeiro Ouro negro, que recebeu aplicação direta de Mo, Pessoa et al. (2001) observaram atividade da nitrato redutase superiores as obtidas neste experimento. Este fato pode estar relacionado à diferença da atividade nas cultivares ou ao déficit hídrico que acometeu a cultura no presente experimento. A indução da síntese de nitrato redutase pode ser afetada por déficit hídrico, podendo ser reduzida em até 50% (HSIAO, 1979), fato este acarretado pelo decréscimo do fluxo de nitrato pela falta de umidade no solo (ANDRADE NETO, 2005). No entanto, os valores observados estiveram dentro dos intervalos obtidos por Almeida et al. (2013) com feijão, que obtiveram atividade variando de 0,3 a 1,7 $\mu\text{mol NO}_2^- \text{h}^{-1} \text{g}^{-1}$ MF. Na avaliação da atividade da NR do feijoeiro, somente três tratamentos diferiram significativamente da testemunha (sem adubação verde ou doses de Mo): resíduos de crotalária-juncea e feijão-de-porco sem Mo e este último com 120 g ha^{-1} de Mo (Tabela 3).

Tabela 3. Atividade da Nitrato Redutase (NR) no feijoeiro-comum aos 66 dias após a semeadura após dois adubos verdes cultivados com diferentes doses de molibdênio. UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016.

| Tratamentos | NR, em $\text{mmol NO}_2^- \text{h}^{-1} \text{g}^{-1}$ de MF |
|-------------------------------|---|
| Testemunha | 0,52 |
| Feijoeiro_Crotalária 0 | 1,39 * |
| Feijoeiro_Crotalária 40 | 0,81 |
| Feijoeiro_Crotalária 80 | 0,44 |
| Feijoeiro_Crotalária 120 | 0,72 |
| Feijoeiro_Feijão-de-porco 0 | 1,54 * |
| Feijoeiro_Feijão-de-porco 40 | 0,81 |
| Feijoeiro_Feijão-de-porco 80 | 0,84 |
| Feijoeiro_Feijão-de-porco 120 | 0,94 * |
| CV(%) | 16,50 |
| DMS | 0,35 |

Médias seguidas de * na coluna diferem da testemunha a 5% de probabilidade de erro pelo teste Dunnett.

A deficiência de nitrato acarreta baixa sintetização da enzima e, conseqüentemente, baixa atividade. Isto é constatado com o resultado obtido na testemunha, a qual não apresentava nenhum tipo de adubação e conseqüentemente pouca disponibilidade de nitrato.

No entanto, quando há a adubação verde ocorrem os processos de decomposição do resíduo vegetal e, concomitantemente, a mineralização do N, com isso, significativas quantidades de nitrato são disponibilizados no solo, proporcionando a síntese de NR, elevando sua atividade (PESSOA et al., 2001; ALMEIDA et al., 2013), como constatado nos tratamentos que diferiram da testemunha.

Nos demais tratamentos, mesmo na presença de substrato, a NR permaneceu similar à testemunha. Este comportamento também foi observado por Almeida et al. (2000) e Pessoa et al. (2001) em fases mais avançadas do ciclo em plantas que receberam adubação com Mo, fato devido a manutenção das taxas de atividade da nitrogenase.

A atividade da nitrato redutase por si só não apresenta toda a explicação necessária a discussão do efeito do Mo aplicado em espécies de adubação verde. No entanto, pode ser utilizada para inferir sobre o aproveitamento por plantas de feijoeiro-comum, do nitrato disponibilizado a partir da decomposição do resíduo vegetal.

Não é possível afirmar se o Mo residual seria suficiente para o aumento da atividade da NR, porém os resultados obtidos em feijoeiro indicam que o efeito da adubação verde foi suficiente para que a atividade enzimática se sobressaísse à testemunha. Como o feijoeiro, assim como os adubos verdes, tem capacidade de formar associação simbiótica com bactérias fixadoras de N, é possível que parte dos nutrientes avaliados tenha contribuído também para a atividade da nitrogenase.

Desta forma nitrogenase, responsável pela FBN, pode explicar em conjunto com a nitrato redutase os processos envolvidos na assimilação e metabolismo do N.

5 CONCLUSÕES

A aplicação de Mo foliar promove o incremento do acúmulo de matéria seca e de N ao cultivo de crotalária-juncea. O feijão-de-porco não apresenta resposta positiva ao micronutriente.

O feijão-de-porco apresenta maior velocidade de decomposição da matéria seca e mineralização do N quando comparada com a crotalária-juncea.

Não houve efeito das doses de Mo e dos pré-cultivos de adubos verdes sobre a produtividade do feijoeiro.

A atividade da NR é influenciada pelo estágio de desenvolvimento das espécies leguminosas e pelas doses de Mo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa surge como uma nova possibilidade para os cultivos de adubos verdes, sendo o pontapé inicial para avaliar os processos que ocorrem no metabolismo, absorção e assimilação do N em resposta à aplicação de Mo nas espécies de adubação verde, assim como na decomposição, mineralização e ciclagem de nutrientes, com ênfase no N.

Espera-se, futuramente, contribuir para o conhecimento do processo de mineralização de N dos adubos verdes, ampliando a possibilidade de aumentar a eficiência de utilização deste nutriente de fontes orgânicas pelas culturas comerciais.

Em termos tecnológicos, a obtenção do efeito positivo a aplicação molibdica nas espécies de adubo verde abre um leque de possibilidades na pesquisa, no desenvolvimento de uma metodologia adequada de aplicação a cada espécie, que propicie aumento da atividade enzimática da planta, melhore o desenvolvimento, acúmulo de massa e nutrientes, e novas pesquisas quanto a decomposição com uso de doses, e a interferência causada com a aplicação do Mo a outros componentes minerais das plantas.

Dentre as inovações, poderão surgir a produção de sementes peletizadas, encapsuladas ou bioenriquecidas com Mo, proporcionando uma maior eficiência produtiva e conseqüentemente maior efeito residual às culturas em sucessão, com supressão parcial ou total da adubação nitrogenada adicional.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, José A. de A. et al. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural [online]**, Santa Maria, v. 44, n. 5, p. 801-809, 2014.

AITA, Celso. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M.R.; DALMOLIN, R.S.D. **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Depto de Solos/UFSM, 1997. p. 76-111.

ALBUQUERQUE, Hermann C. et al. Capacidade nodulatória e características agrônômicas de feijoeiros comuns submetidos à adubação molíbdica parcelada e nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza , v. 43, n. 2, p. 214-221, 2012.

ALCÂNTARA, Flavia A. et al. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 277 - 288, 2000.

ALMEIDA, Fernanda F. D. et al. Seeds with high molybdenum concentration improved growth and nitrogen acquisition of rhizobium-inoculated and nitrogen-fertilized common bean plants. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v. 37, n. 2, p. 367-378, 2013.

ANDRADE, Messias J. B. et al. Resposta da cultura do feijoeiro à aplicação foliar de molibdênio e às adubações nitrogenadas de plantio e cobertura. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22, p. 499 - 508, 1998.

ANDRADE NETTO, José F. **Atividade das enzimas redutase do nitrato e glutamina sintetase em cafeeiro arábica**. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Fitotecnia. PIRACICABA. Estado de São Paulo – Brasil Fevereiro – 2005. 60f.

ANDRAUS, Michel De P. **Nodulação de cultivares de feijoeiro-comum influenciada por diferentes ciclos de crescimento**. 2014. 73f. Dissertação - Universidade federal de Goiás, 2014.

ARAUJO, Adelson P.; TEIXEIRA, Marcelo G. Variabilidade dos índices de colheita de nutrientes em genótipos de feijoeiro e sua relação com a produção de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v. 36, n. 1, p. 137-146, 2012.

ARAUJO, Paulo R. De A., et al. Combinações de doses de molibdênio e nitrogênio na adubação da cultura do feijoeiro-comum. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 227-234, 2009.

BACK, Alvaro J. Necessidade de irrigação da cultura de feijão no sul do estado de Santa Catarina. **Revista Tecnologia e Ambiente**, Criciúma, v. 7, n. 1, p. 35-44, 2001.

BARROW, N. J. Comparison of the adsorption of molybdate, sulfate and phosphate by soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 109, n. 5, p. 282-288, 1970.

BERNARDES, Tatiely G. et al. Productivity of irrigated beans due to sources of stabilized nitrogen fertilizer and controlled release. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 6, p. 614-620, dez. 2015.

BERTOLDO, Juliano G. Et al. Alternativas na fertilização de feijão visando a reduzir a aplicação de N-ureia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 3, p. 348-355, 2015.

BISCARO, Guilherme A. et al. Nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar no feijoeiro irrigado cultivado em solo de cerrado. **Acta Science Agronomi**, Maringá, v. 33, n. 4, p. 665-670. 2011.

BLOOM, Arnold J., SUKRAPANNA, Scott S., WARNER, Robert L. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. **Plant Physiol.** v. 99 p. 1294-1301. 1992.

BONANOMI Giuliano et al. Litter quality assessed by solid state ¹³C NMR spectroscopy predicts decay rate better than C/N and Lignin/N ratios. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 56 p. 40-48, 2013.

BREDEMEIER, Christian; MUNDSTOCK, Claudio Mario. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural [online]**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.

BRITO, Marciano de M. P.; MURAOKA, Takashi; SILVA, Edson C. da. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 206-215, 2011.

CAMARA, Gil M. De S. Fixação biológica de nitrogênio em soja, Informações agrônômicas. **IMP-International plant nutrition institute**, Piracicaba, n. 147, 2014.

CAMARGO, Otavio A. de. **Reações e interações de micronutrientes no solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/micronutrientes/Index.htm>. Acesso em: 11/3/2016

CALVACHE, A. M.; REICHARDT, K. Efeito de épocas de deficiência hídrica na eficiência do uso do nitrogênio da cultura do feijão cv. Imbabello. **Scientia Agricola**, Piracicaba v. 53, n. 2-3, pp. 343-353, 1996.

CALVACHE, A. M. et al . Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, n. 3, p. 232-240, 1997.

CAVALCANTE, Valéria S. et al . Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande , v. 16, n. 5, p. 521-528, 2012.

CAMPBELL, Wilbur H. Nitrate reductase structure, function and regulation: Bridging the gap between biochemistry and physiology. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* v. 50, p. 277-303, 1999.

CAMPO, Rubens J.; ARAUJO, Ricardo S.; HUNGRIA, Mariangela. Molybdenum-enriched soybean seeds enhance N accumulation, seed yield, and seed protein content. **Brazil Field Crops Research** v. 110 p. 219-224 2009.

CARNEIRO, Marco A. C. et al. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 455-462, 2008.

CAVIGLIONE, João H. et al. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. 1 CD.

DECKHARD, E. L., LAMBERT, R. J., HAGEMAN, R. H. Nitrate reductase activity in corn leaves as related to yields of grain and grain protein. **Crop Science**, Madison, v. 13, p. 343 - 350, 1973.

DOURADO NETO, Durval; FANCELLI, Antonio L. **Produção de feijão**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 385 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p. 2° ed.

ESPINDOLA, José A. A. et al. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]**, Viçosa , v. 30, n. 2, p. 321-328, 2006.

FAGAN, Evandro B. et al. Fisiologia da fixação biológica do nitrogênio em soja – revisão. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 14, n. 1, p. 89-106, 2007.

FANCELLI, Antonio L. **Teconologia para a produção do feijoeiro**. Piracicaba: SEBRAE, 1994. 154p.

FERNANDES, Rodolfo C.; GUERRA, José G. M.; ARAUJO, Adelson P. Desempenho de cultivares de feijoeiro-comum em sistema orgânico de produção. **Pesquisa agropecuaria brasileira**, Brasília, v. 50, n. 9, p. 797-806, 2015.

FRANÇOIS, Ticiano. **Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária**. 2012. 113f. Dissertação de mestrado Universidade Federal de Santa Maria, Programa de pós graduação em Engenharia Agrícola 2012.

FREITAS Isabel C. V.; RODRIGUES Mariana B. Fixação biológica do nitrogênio na cultura do milho. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 31, n. 2, 2010.

FULLIN, Eli A. et al. Nitrogênio e molibdênio na adubação do feijoeiro irrigado. **Pesquisa agropecuaria brasileira**, Brasília, v. 34, n. 7, p. 1145-1149, 1999.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BRITO, E. C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na Região Noroeste Fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1421-1428, 2007.

GELAIN, Evandro et al. Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 259-269, 2011.

GOMES, Marco A. F. et. al. **Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos bioquímicos, fertilizantes e corretivos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008. 62 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos; 66).

HSIAO, Theodore C. Plant responses to water deficits, efficiency, and drought resistance. **Agricultural methodology**, v, 14, p. 59-84, 1979.

IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná. disponível em:<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1363>). Acesso: 5 de novembro de 2015.

JANSSENS Ivan A. et al. Reduction of forest soil respiration in response to nitrogen deposition. **Nature Geoscience**, v. 3 p. 315-322, 2010.

JAWORSKI, E. K. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, New York, v. 43, p. 1274 -1279, 1971.

KAISER, Brent N. et al. The role of molybdenum in agricultural plant production. **Annals of Botany**, Oxford, v. 96, n. 5, p. 745-754, 2005.

KUBOTA, Flavio Y. et al . Crescimento e acumulação de nitrogênio de plantas de feijoeiro originadas de sementes com alto teor de molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v. 32, n. 4, p. 1635-1641, 2008.

LEAL, Marco A. de A. et al. Desempenho de crotalaria cultivada em diferentes épocas de semeadura e de corte. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 3, p. 386-391, 2012.

LIMA, Eduardo. V. et al. Adubação NK no desenvolvimento e na concentração de macro-nutrientes no florescimento do feijoeiro. *Scientia Agrícola*, v.58, p.125-129, 2001.

LOPES, José F. et al. Adubação foliar com níquel e molibdênio no feijoeiro comum cv. Ouro Vermelho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 2, p. 234-240, 2014.

MAGIERO, Emanuelle C. **Fisiologia da floração e atividade alelopática de *Artemisia annua* L. cultivar *Artemis* cultivada em clima subtropical úmido**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, 2009.

MANSSON, Katarina; FALKENGREN-GRERUP, Ursula. The effect of nitrogen deposition on nitrification, carbon and nitrogen mineralisation and litter C:N ratios in oak (*Quercus robur* L.) forests. **Forest Ecology and Management**. v. 179 p. 455-467, 2003.

MARCELO, Adolfo V.; CORA, José E.; FERNANDES, Carolina. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta: II - decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, p. 1568-1582, 2012.

MARSCHNER, Horst. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 1995. 889p.

MARTINS, Roberta P. et al . Mineralização do nitrogênio de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, depositadas sobre um solo com histórico de cultivo de cebola. **Revisra Ceres**, Viçosa , v. 61, n. 4, p. 587-596, 2014.

MATOSO, Stella C. G.; KUSDRA, Jorge F. Nodulação e crescimento do feijoeiro em resposta à aplicação de molibdênio e inoculante rizobiano. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental [online]**, Campina Grande, v. 18, n. 6, p. 567-573 2014.

MENGEL, Konrad; KIRKBY, Ernest A. **Principles of plant nutrition**. Bern, International Potash Institute, 1987. 667p.

MENDONÇA, José C. et al. Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 11, n. 5, p. 471-475, 2007.

MILANI, Gustavo L. et al. Nodulação e desenvolvimento de plantas oriundas de sementes de soja com altos teores de molibdênio. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 30, n. 2, p. 19-27, 2008.

NUNES, Fábio Souza; RAIMONDI, Angela Cristina; NIEDWIESKI, Antonio Carlos. Fixação de nitrogênio: estrutura, função e modelagem bioinorgânica das nitrogenases. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 6, p. 872-879, 2003.

OLIVEIRA, André L. M. de et al. Response of micropropagated sugarcane varieties to inoculation with endophytic diazotrophic bacteria. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 34, supl. 1, p. 59-61, 2003.

PADOVAN, Milton P. et al. Acúmulo de fitomassa e nutrientes e estágio mais adequado de manejo do feijão-de-porco para fins de adubação verde. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 6, n. 3, p. 182-190, 2011.

PAUL, Eldor A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2nd.ed. California: Academic Press, 1996. 340p.

PEREIRA, Vinicius G. C. et al. Exigências Agroclimáticas para a Cultura do Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Itajubá v. 3, p. 32-42, 2014.

PERONI FERRARI, sementes 2011. Disponível em: <http://www.peronferrari.com.br/sementes/feijao/iprtuiui>. Acesso em 21 de fev. de 2016.

PESSOA, Antonio C. dos S. et al. Atividades de nitrogenase e redutase de nitrato e produtividade do feijoeiro "ouro negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 24 p. 217-224, 2001.

PESSOA, Antonio C. dos S. et al. Concentração foliar de molibdênio e exportação de nutrientes pelo feijoeiro "Ouro Negro" em resposta à adubação foliar com molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 75-84, 2000.

PIRES, André A., et al. Rendimento de grãos, componentes do rendimento e índice spad do feijoeiro (*phaseolus vulgaris l.*) em função de época de aplicação e do parcelamento da aplicação foliar de molibdênio. **Ciência agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1092-1098, 2004.

PIRES, André A. et al. Parcelamento e época de aplicação foliar do molibdênio na composição mineral das folhas do feijoeiro. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 25-31, jan./mar. 2005.

REIS, Veronica M.; TEIXEIRA, K. R. S. Fixação biológica de nitrogênio – estado da arte. In: AQUINO, Q. M.; ASSIS, R. L. **Processos biológicos no sistema solo-planta**: fermentas para uma agricultura sustentável. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005, p. 151-180.

RIBAS, Rodolfo G. T., SANTOS, Ricardo H. S., SIQUEIRA, Rosileyde G. Decomposição, liberação e volatilização de nitrogênio em resíduos culturais de mucuna-cinza (*Mucuna cinerea*). **Ciência agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 878-885, 2010.

ROCHA, Paulo R. R. et al. Adubação molíbdica na cultura do feijão nos sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 9-17, 2011.

ROSSI, Celeste Q. et al. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1523-1534, 2013.

ROSSI, Rafaela Lopes. et al. Adubação foliar com molibdênio na cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 1, n. 1, p. 12-23, 2012.

SANTOS, Vanderley S. dos; CAMPELO JUNIOR, José H. Influência dos elementos meteorológicos na produção de adubos verdes, em diferentes épocas de semeadura. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, pp. 91-98, 2003.

SEAB – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento DERAL - Departamento de Economia Rural Feijão - Análise da Conjuntura Agropecuária Dezembro de 2014. Disponível em: <
http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/feijao_2014_15.pdf. Acesso em 22 de fevereiro de 2016.

SILVA, Marcelo V. et al. Fontes e doses de molibdênio via foliar em duas cultivares de feijoeiro. **Ciência agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 1, p. 126-133, 2003.

SILVA, F. A. S. ; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal components analysis in the software assistat-statistical assistance. In: 7th World Congress on Computers in Agriculture, 2009, Reno. Proceedings of the 7th World Congress on Computers in Agriculture. St. Joseph: ASABE, 2009. v. CD-Rom. p.1-5.

SORATTO, Rogerio P. et al. Níveis e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado em plantio direto. **Cultura Agronômica**. Viçosa. v. 10, p. 89-99, 2001.

SORATTO, Rogerio P. et al. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalaria e milheto, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, p. 1462-1470, 2012.

SOUZA, Sonia R.; FERNANDES, Manlio S. In. Capítulo: X-NITROGÊNIO. In: FERNANDES, Manlio Silvestre. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. 432p.

STONE, Luis. F.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Deficiência hídrica, vermiculita e cultivares. III. Efeito sobre o balanço de nitrogênio no sistema solo-planta na cultura do arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 183-188, 1985.

STONE, Luis F.; MOREIRA, José A. A., Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 473-481, 2001.

TEDESCO, Marino J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Departamento de solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995. 174p.

TEODORO, Ricardo B. et al. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 635-640, 2011.

THOMAS, R. J.; ASAKAWA, N. M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. **Soil Biology and Biochemistry**, Colombia, v. 23, p. 1351-1361, 1993.

TIMOSSI, Paulo C., et al. Supressão de plantas daninhas e produção de sementes de crotalaria, em função de métodos de semeadura. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 525-530, out./dez. 2011.

TOLETO, Mariana Z. et al. Nodulação e atividade da nitrato redutase em função da aplicação de molibdênio em soja **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 858-864, 2010

TORRES, José L. R. et al. Decomposição E Liberação De Nitrogênio De Resíduos Culturais De Plantas De Cobertura Em Um Solo De Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa. v. 29, p. 609-618, 2005.

TORRES, José L. R.; PEREIRA, Marcos G.; FABIAN, Adelar J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 421-428, 2008.

URQUIAGA, Segundo et al. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio na produtividade dos sistemas agrícolas na América Latina. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas**

para uma agricultura sustentável. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, cap. 7. p. 181-200, 2005.

VARGAS, Thiago de O. et al. Influência da biomassa de leguminosas sobre a produção de repolho em dois cultivos consecutivos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 4, p. 562-568, 2011.

VIEIRA, Clibas, JÚNIOR, Trazildo J. P., BORÉM, Aluizio. **Feijão**. 2 ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2006. 600p.

YAGI, Renato et al. Nodulações e Produtividades de Grãos de Feijoeiros diante da Adubação Nitrogenada ou da Inoculação com *Rhizobium* Freirei. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1661-1670, 2015 .

APÊNDICES

APÊNDICE A - Resumo da análise de variância para matéria seca (MS) e acúmulo de N nos adubo verdes (*Crotalaria juncea* e *Canavalia ensiformis*). UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016.

| FV | GL | MS | N |
|-------------|----|------------|--------------|
| Espécie | 1 | 3139,66 ** | 269136,99 ** |
| Doses | 3 | 6,19 | 7295,24 |
| Esp. x Dose | 3 | 15,41 ** | 8326,04 ** |
| Tratamentos | 7 | 457,78 ** | 45142,98 ** |
| Blocos | 3 | 2,23 | 2182,38 |
| Resíduo | 21 | 1,84 | 1089,41 |
| CV (%) | | 6,19 | 8,55 |

*e**, significativo a 5 e 1%, respectivamente pelo teste de F.

APÊNDICE B - Resumo da análise de variância para Massa e N remanescente das espécies de adubo verde (*Crotalaria juncea* e *Canavalia ensiformis*) sob doses de Mo (0, 40, 80, 120 g ha⁻¹). UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016.

| FV | GL | Matéria seca remanescente | N remanescente |
|---------------------|-----|---------------------------|----------------|
| Espécie | 1 | 8910123,44 ** | 1039,07 ** |
| Resíduo a | 6 | 36124,33 | 6,74 |
| Doses | 3 | 62168,22 | 74,59 |
| Esp. x dose | 3 | 159465,30 * | 71,77 ** |
| Resíduo b | 18 | 47995,29 | 10,77 |
| Épocas | 9 | 4061105,84 | 1950,19 |
| Esp. x época | 9 | 37385,85 | 75,10 ** |
| Dose x época | 27 | 43039,94 | 24,33 ** |
| Dose x esp. x época | 27 | 27109,27 | 23,06 ** |
| Resíduo c | 216 | 29806,06 | 10,68 |
| CV (%) | | 14,15 | 16,51 |

*e**, significativo a 5 e 1%, respectivamente pelo teste de F.

APÊNDICE C - Resumo da análise de variância para componente de rendimento do feijoeiro-comum adubado com espécies de adubos verdes (*Crotalaria juncea* e *Canavalia ensiformis*) sob doses de Mo (0, 40, 80, 120 g ha⁻¹). UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016.

| FV | GL | Prod. | N_Feijão | M100 | NV | GP | GV |
|-------------|----|------------|----------|--------|----------|-------------|------|
| Esp. | 1 | 2.907,24 | 18,51 | 0,18 | 0,13 | 524,07 | 0,03 |
| Doses | 3 | 33.530,71 | 17,83 | 0,04 | 34,27 | 556,88 | 0,02 |
| Esp. x Dose | 3 | 106.629,39 | 62,65 | 0,60 | 7,35 | 371,59 | 0,02 |
| Fat x test. | | 17.419,00 | 56,33 | 3,11 * | 58,68 ** | 1.393,48 ** | 0,01 |
| Tratamentos | 8 | 55.100,82 | 39,53 | 0,65 | 22,96 ** | 587,87 ** | 0,02 |
| Blocos | 3 | 8.202,08 | 18,34 | 0,18 | 10,72 | 278,94 | 0,02 |
| Resíduo | 24 | 67.250,56 | 35,38 | 0,52 | 33,99 | 170,62 | 0,84 |
| CV (%) | | 13,57 | 13,97 | 3,48 | 17,79 | 20,99 | 5,26 |

*e**, significativo a 5 e 1%, respectivamente pelo teste de F. Prod. (Produtividade do feijoeiro em kg ha⁻¹), N_Feijão (N no feijoeiro-comum kg ha⁻¹); M100 (massa de 100 grãos), NV (Número de vagens por planta), GP (Número de grãos desenvolvidos por planta), GV (Número de grãos desenvolvidos por vagem).

APÊNDICE D - Resumo da análise de variância da nitrato redutase (NR) das espécies de adubos verdes (*Crotalaria juncea* e *Canavalia ensiformis*) sob doses de Mo (0, 40, 80, 120 g ha⁻¹). UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016.

| FV | GL | Nitrato redutase_Adubos verdes |
|-------------|----|--------------------------------|
| Espécie | 1 | 13,84 ** |
| Doses | 3 | 0,99 |
| Esp. x Dose | 3 | 3,15 ** |
| Tratamentos | 7 | 3,75 ** |
| Blocos | 2 | 0,46 |
| Resíduo | 14 | 0,18 |
| CV (%) | | 25,56 |

*e**, significativo a 5 e 1%, respectivamente pelo teste de F.

APÊNDICE E - Resumo da análise de variância da nitrato redutase (NR) da cultura do feijoeiro-comum sobre o efeito residual dos adubos verdes (*Crotalaria juncea* e *Canavalia ensiformis*) sob doses de Mo (0, 40, 80, 120 g ha⁻¹). UTFPR - Câmpus Pato Branco, 2016.

| FV | GL | Nitrato redutase_feijoeiro-comum |
|-------------|----|----------------------------------|
| Espécie | 1 | 0,226 ** |
| Doses | 3 | 0,788 |
| Esp. x Dose | 3 | 0,039 |
| Fat x Test | 1 | 0,467 ** |
| Tratamentos | 8 | 0,397 ** |
| Blocos | 2 | 0,024 |
| Resíduo | 16 | 0,021 |
| CV (%) | | 16,370 |

*e**, significativo a 5 e 1%, respectivamente pelo teste de F.