

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ANDERSON CLAYTON RHODEN**

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: NITROGÊNIO EM PASTAGEM  
HIBERNAL E CULTIVO DE FEIJÃO EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-  
PECUÁRIA**

**TESE**

**PATO BRANCO**

**2019**

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ANDERSON CLAYTON RHODEN**

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: NITROGÊNIO EM PASTAGEM  
HIBERNAL E CULTIVO DE FEIJÃO EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-  
PECUÁRIA**

**TESE**

**PATO BRANCO**

**2019**

**ANDERSON CLAYTON RHODEN**

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: NITROGÊNIO EM PASTAGEM  
HIBERNAL E CULTIVO DE FEIJÃO EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-  
PECUÁRIA**

Tese 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 Doutor em Agronomia - Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária.

Orientador: Profa. Dra. Tangriani Simioni Assmann

**PATO BRANCO**

**2019**

R475a Rhoden, Anderson Clayton.  
Adubação de sistemas: nitrogênio em pastagem hiberna e cultivo de feijão em integração lavoura-pecuária / Anderson Clayton Rhoden. -- 2019. 167 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Tangriani Simioni Assmann.  
Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2019.  
Bibliografia: f. 147 - 156.

1. Fertilizantes nitrogenados. 2. Adubos e fertilizantes. 3. Nitratos. 4. Pastagens - Manejo. I. Assmann, Tangriani Simioni, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDD (22. ed.) 630

Ficha Catalográfica elaborada por:  
Suélem Belmudes Cardoso CRB9/1630  
Biblioteca da UTFPR Câmpus 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 Tese n.º 052**

### **ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: NITROGÊNIO EM PASTAGEM HIBERNAL E CULTIVO DE FEIJÃO EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Por

**ANDERSON CLAYTON RHODEN**

Tese apresentada às catorze horas do dia vinte e nove de abril de dois mil e dezenove, como requisito parcial para obtenção do título de DOUTOR EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Integração Lavoura-Pecuária, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

---

**Dra. Deonisia Martinichen**  
UNICENTRO/Guarapuava

---

**Dr. Sebastião Brasil Campos Lustosa**  
UNICENTRO/Guarapuava

---

**Dra. Marcieli Maccari**  
UNOESC/Xanxerê

---

**Dr. Alceu Luiz Assmann**  
IAPAR/Pato Branco

---

**Dra. Tangriani Simioni Assmann**  
UTFPR/Pato Branco  
Orientadora

---

**Prof. Dr. Alcir José Modolo**  
UTFPR/Pato Branco  
Coordenador do PPGAG

"O Termo de Aprovação, devidamente assinado, encontra-se arquivado na Coordenação do PPGAG".

Dedico esta tese as minhas filhas, Eduarda e Alexandra, e esposa, Maria Cristiane, que nunca mediram esforços para me ajudar e a cuidar de mim durante toda minha caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Gratidão a Deus pelo dom da vida, sabedoria, saúde, força e fé a cada dia de minha vida.

A minha família que sempre esteve ao meu lado, incentivando, cobrando e apoiando-me, aquecendo minha alma e ajudando a manter o foco, sendo então, a minha base, pude ter êxito neste trabalho. Cris, Duda e Xanda, amo vocês!

Aos meus pais, Ido e Ivanir, e irmão Emerson, pela educação, incentivo e apoio na jornada de estudos que começou lá por 1998. Muito obrigado!

A minha orientadora, Profa. Dra. Tangriani Simioni Assmann pela ajuda, apoio, compreensão, dedicação, confiança e orientação acertiva. Profe, para você tiro o meu chapéu. Gratidão!

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGAG), pela oportunidade de realização do doutorado, apoio e entendimento sobre minhas necessidades e solicitações, e por me oportunizar conhecimento de qualidade.

Aos colegas do GISPA, graduandos, mestrandos, doutorados e pós-doutorandos, que em todos os momentos puderam ajudar na execução e discussão do experimento, pela parceria e dedicação de todos. De maneira muito especial aos eternos amigos Flávia Levinski-Huf, Rosângela Correa de Lima, Pablo Beltran Barriga e Ricardo Aiolfi por termos convivido por muito tempo em momentos de trabalho à campo, no laboratório, em discussões, disciplinas, visitas técnicas e viagens. Enfim, vocês foram especiais e essenciais para que eu pudesse chegar a este momento. Muito obrigado, de alma e coração!

Aos Laboratórios da UTFPR, Laboratório de Solos, na pessoa da Andressa, Central de Análises, na pessoa da Anaclara, que ajudaram nos incansáveis trabalhos de leitura de nutrientes, e Laqua que permitiu o uso da estrutura.

Aos professores do PPGAG, os quais proporcionaram-me grande aprendizado, aos professores membros da banca, Dr. Alceu Assmann, Dra. Marcieli Maccari, Dra. Deonísia Martinichen e Dr. Sebastião Lustosa, pela oportunidade de discussão do trabalho e grandiosa contribuição na elaboração da Tese.

Enfim, a todos que de alguma forma, apoiaram, participaram e auxiliaram-me, torcendo pela minha formação pessoal e profissional, e pela execução deste belo trabalho, o meu muito obrigado!

“Quando penso que cheguei ao meu limite,  
descubro que tenho forças para ir além”.

- Ayrton Senna da Silva.



## RESUMO

RHODEN, Anderson Clayton. Adubação de sistemas: nitrogênio em pastagem hiberna e cultivo de feijão em integração lavoura-pecuária. 167 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

O manejo da adubação nitrogenada e da altura do pasto é fundamental para o sucesso do sistema de integração lavoura-pecuária (ILP). A adubação de sistemas é uma importante estratégia para potencializar a eficiência de uso dos nutrientes em função do efeito residual entre os cultivos. O objetivo foi avaliar o efeito da adubação nitrogenada nas diferentes fases de cultivo e intensidades de pastejo sobre o comportamento do amônio, nitrato e N mineral no solo, estado nutricional e produtividade do feijoeiro em um sistema de ILP. O experimento foi conduzido na fazenda Pacheco, Abelardo Luz, SC, ano agrícola 2016/2017, a partir da sucessão de dois cultivos em um sistema de ILP. No inverno de 2016, fase pastagem, foi conduzido azevém cv. Winter Star mantido sob pastejo por bovinos de corte, e na fase cultura de grãos, feijoeiro cv. IPR Tuiuiu. O delineamento experimental foi blocos ao acaso com três repetições, distribuídos em esquema fatorial (2x2). O primeiro fator foi tempo de adubação de N, com a adubação nitrogenada somente na pastagem de azevém (N-Fert. Pastagem), 200 kg de N ha<sup>-1</sup>, e adubação somente na cultura de grãos, feijoeiro (N-Fert. Grãos), 100 kg de N ha<sup>-1</sup>. O segundo fator foi altura de pasto, regulada por bovinos de corte em lotação contínua e taxa de lotação variável, manejada em alta (25 cm) e baixa altura (10 cm). Na fase cultura de grãos foi adicionado mais um fator, doses de N: zero; 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, em subparcelas alocadas em todas parcelas. As variáveis analisadas foram amônio, nitrato e N mineral no solo nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20; 20-40; 40-60 cm, em duas avaliações na fase pastagem e duas na fase cultura de grãos. A adubação nitrogenada do azevém e do feijoeiro promove aumento no teor de amônio, nitrato e N mineral no solo e não ocasiona perdas de N por lixiviação de nitrato. Os maiores teores de amônio, nitrato e N mineral no solo ocorreram no tratamento N-Fert. Pastagem, indicando haver efeito residual da fase pastagem para a fase cultura de grãos. Os nutrientes N e K apresentam efeito de diluição no feijoeiro. A curva de diluição proposta por Lemaire e Salette (1984) para plantas C3 não se mostrou adequada para o diagnóstico do estado nutricional nitrogenado do feijoeiro. O manejo do pasto em alta altura promove maiores teores de amônio no solo e índice nutricional nitrogenado no feijoeiro, indicando que os restos culturais são importantes na ciclagem do N. A produtividade e MS acumulada do feijoeiro foram maiores no tratamento N-Fert. Pastagem associado a adubação nitrogenada do feijoeiro. A produtividade do feijoeiro aumentou de forma linear com as doses de N no tratamento N-Fert. Grãos. A aplicação de 150 kg de N ha<sup>-1</sup> no tratamento N-Fert. Grãos resultou em produtividade do feijoeiro inferior a dose zero no tratamento N-Fert. Pastagem.

**Palavras-chave:** Ciclagem de nutrientes. Índice nutricional nitrogenado. Índice de P. Índice de K. Nitrato.

## ABSTRACT

RHODEN, Anderson Clayton. Fertilization of systems: nitrogen in winter pasture and bean cultivation in integrated crop-livestock. 167 p. Thesis (Ph.D. in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Soils and Integrated Crop-Livestock Systems), Federal University of Technology Paraná. Pato Branco, 2019.

The management of nitrogen fertilization and pasture height is fundamental for the success of the integrated crop-livestock system (ICLS). System fertilization is an important strategy to increase the efficiency of nutrient use as a function of the residual effect between crops. The objective was to evaluate the effect of nitrogen fertilization and grazing intensities on ammonium, nitrate and mineral N in the soil and bean nutritional status and yield in an ICLS. The experiment was conducted at the Pacheco farm, located in Abelardo Luz, SC, agricultural year 2016/2017, from the succession of two crops. In the winter of 2016, pasture phase, was conducted ryegrass cv. Winter Star kept under grazing by beef cattle, and in the grain crop phase, bean cv. IPR Tuiuiu. The experimental design was in randomized blocks with three replications, distributed in a factorial scheme (2x2). The first factor was nitrogen fertilization time, with nitrogen fertilization only in ryegrass pasture (N-Fert. Pasture), 200 kg of N ha<sup>-1</sup>, and fertilization only in grain crops, bean (N-Fert. Grains), 100 kg of N ha<sup>-1</sup>. The second factor was pasture height, regulated by means of continuous stocking and variable stocking rate, handled at high (25 cm) and low (10 cm) height. In the grain culture phase, one more factor was added, doses of N: zero; 50; 100 and 150 kg of N ha<sup>-1</sup>, in subplots allocated in all plots. The analyzed variables were ammonium, nitrate and mineral N in the soil at depths of 0-5; 5-10; 10-20; 20-40; 40-60 cm. Nitrogen fertilization of ryegrass and bean promotes an increase in ammonium, nitrate and mineral N content in the soil and does not cause losses of N by leaching of nitrate. The highest levels of ammonium, nitrate and mineral N in soil occurred in the N-Fert. Pasture, indicating that there is residual effect of pasture phase for the grain culture phase. The nutrients N and K present a dilution effect on bean. The dilution curve proposed by Lemaire and Salette (1984) for C3 plants was not adequate for the diagnosis of nitrogen nutritional status of bean. The management of the high height pasture promotes higher levels of ammonium in the soil and nitrogen nutrition index of the bean, indicating that the cultural remains are important in the N cycling. The productivity and accumulated DM of the bean were higher in the N-Fert. Pasture associated with nitrogen fertilization of bean. Bean productivity increased linearly with N doses in the N-Fert. Grains. The application of 150 kg of N ha<sup>-1</sup> in the N-Fert. Grains resulted in bean productivity lower than zero dose in the N-Fert. Pasture.

**Keywords:** Nutrient cycling. Nitrogen nutrition index. Index of P. Index of K. Nitrate.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** - Parâmetros meteorológicos observados durante o período experimental de maio de 2016 a março de 2017. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....51
- Figura 2** - Localização e levantamento planialtimétrico da experimental sob integração lavoura-pecuária. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....53
- Figura 3** - Croqui experimental com a disposição dos tratamentos de tempo de adubação de N e altura de pasto na pastagem de azevém. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....56
- Figura 4** - Croqui experimental com a disposição dos tratamentos na fase pastagem e alocação das subparcelas na fase cultura de grãos no cultivo de feijoeiro IPR Tuiuiu. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....58
- Figura 5** - Teor de amônio ( $N-NH_4^+$ ) no solo após o cultivo do feijão das secas e antes da semeadura da pastagem de azevém no inverno de 2016 em função da profundidade de solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019....67
- Figura 6** - Teor de amônio ( $N-NH_4^+$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura na pastagem de azevém no inverno de 2016 em função da interação entre tempo de adubação de N e profundidade de solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....70
- Figura 7** - Teor de nitrato ( $N-NO_3^-$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura na pastagem de azevém no inverno de 2016 em função da interação entre tempo de adubação de N e altura de pasto. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....73
- Figura 8** - Teor de nitrato ( $N-NO_3^-$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura na pastagem de azevém no inverno de 2016 em função da interação entre tempo de adubação de N e profundidade do solo e entre a altura de pasto e a profundidade do solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....74
- Figura 9** - Teor de N mineral ( $N-NH_4^+ + N-NO_3^-$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura na pastagem de azevém no inverno de 2016 em função da interação entre o tempo de adubação de N e profundidade do solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....76
- Figura 10** - Teor de amônio ( $N-NH_4^+$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N e altura de pasto. Teor de amônio ( $N-NH_4^+$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função da altura de pasto e doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....79

- Figura 11** - Teor de amônio ( $N-NH_4^+$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função da profundidade de solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....81
- Figura 12** - Teor de nitrato ( $N-NO_3^-$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....83
- Figura 13** - Teor de nitrato ( $N-NO_3^-$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função da profundidade de solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....84
- Figura 14** - Teor de nitrato ( $N-NO_3^-$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função das doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....85
- Figura 15** - Teor de N mineral ( $N-NH_4^+ + N-NO_3^-$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....86
- Figura 16** - Teor de N mineral ( $N-NH_4^+ + N-NO_3^-$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função da altura de pasto e das doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....87
- Figura 17** - Teor de N mineral ( $N-NH_4^+ + N-NO_3^-$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função da profundidade do solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....89
- Figura 18** - Teor de amônio ( $N-NH_4^+$ ) no solo na colheita do feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N e da profundidade de solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....90
- Figura 19** - Teor de nitrato ( $N-NO_3^-$ ) no solo na colheita do feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N e das doses de N. Teor de nitrato ( $N-NO_3^-$ ) no solo na colheita do feijoeiro na safra 2016/2017 em função da profundidade de solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....92
- Figura 20** - Teor de N-mineral ( $N-NH_4^+ + N-NO_3^-$ ) no solo na colheita do feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N e da profundidade de solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....93
- Figura 21** - Desdobramento da interação tripla dos DAS, tempo de adubação de N e doses de N sobre o teor de N no feijoeiro na safra 2016/2017. Teor de N nos tratamentos N-Fert. Grãos e N-Fert. Pastagem em função dos dias após a semeadura (DAS) e doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....96
- Figura 22** - Teor de P (%) no feijoeiro na safra 2016/2017 em função dos dias após a semeadura (DAS). Teor de P (%) no feijoeiro na safra 2016/2017 em função dos dias após a semeadura (DAS) e do tempo de adubação de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....99

- Figura 23** - Teor de K (%) no feijoeiro na safra 2016/2017 em função dos dias após a semeadura (DAS). Teor de K (%) no feijoeiro na safra 2016/2017 em função das doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....101
- Figura 24** - Desdobramento da interação tripla entre os dias após a semeadura (DAS), tempo de adubação de N e doses de N sobre o teor de N da parte aérea do feijoeiro na safra 2016/2017 em relação a MS acumulada, comparada com a curva de diluição de N para plantas C3,  $N\% = 4,8 (MS)^{-0,32}$ , proposta por Lemaire e Salette (1984). Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....103
- Figura 25** - Teor de N no feijoeiro na safra 2016/2017 em função da MS acumulada e das doses de N comparado à curva de diluição de N para plantas C3,  $N\% = 4,8 (MS)^{-0,32}$ , proposta por Lemaire e Salette (1984). Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....111
- Figura 26** - Teor de N no feijoeiro na safra 2016/2017 em função da MS acumulada, curva e equação de diluição do N gerada no presente trabalho,  $N\% = 4,35 (MS)^{-0,22}$ , comparado a curva e equação de diluição de N para plantas C3,  $N\% = 4,8 (MS)^{-0,32}$ , proposta por Lemaire e Salette (1984). Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....112
- Figura 27** - Índice nutricional nitrogenado (INN) do feijoeiro na safra 2016/2017 no tratamento N-Fert. Grãos em função dos dias após a semeadura (DAS). Índice nutricional nitrogenado (INN) do feijoeiro na safra 2016/2017 no tratamento N-Fert. Grãos em função das doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....116
- Figura 28** - Índice nutricional nitrogenado (INN) do feijoeiro na safra 2016/2017 no tratamento N-Fert. Pastagem em função dos dias após a semeadura (DAS) e doses de N. Índice nutricional nitrogenado (INN) do feijoeiro na safra 2016/2017 no tratamento N-Fert. Pastagem em função da altura de pasto e doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....117
- Figura 29** - Índice nutricional nitrogenado (INN) do feijoeiro na safra 2016/2017 no tratamento N-Fert. Pastagem em função da altura de pasto. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....118
- Figura 30** - Índice nutricional de fósforo (iP) do feijoeiro na safra 2016/2017 em função dos dias após a semeadura (DAS) e do tempo de adubação de N. Índice nutricional de fósforo (iP) do feijoeiro na safra 2016/2017 em função dos dias após a semeadura (DAS) e doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....120
- Figura 31** - Índice nutricional de fósforo (iP) do feijoeiro na safra 2016/2017 em função da altura de pasto. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....121
- Figura 32** - Índice nutricional de potássio (iK) do feijoeiro na safra 2016/2017 em função dos dias após semeadura (DAS). Índice nutricional de potássio (iK) do feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....123
- Figura 33** - Produtividade do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N e da altura de pasto. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....125

- Figura 34** - Produtividade do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função das doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....128
- Figura 35** - Produtividade do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N e das doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....129
- Figura 36** - Matéria seca do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função dos dias após a semeadura e tempo de adubação de N. Matéria seca do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função dos dias após a semeadura e altura de pasto. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....132
- Figura 37** - Matéria seca acumulada do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N e da altura de pasto. Matéria seca acumulada do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função das doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....133
- Figura 38** - Peso de mil grãos (PMG) do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....135
- Figura 39** - Vagens por planta de feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função das doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....137
- Figura 40** - Número de grãos por vagem de plantas de feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....139

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Parâmetros químicos do solo na profundidade de 0 a 20 cm antes da semeadura do azevém cv. Winter Star. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....51
- Tabela 2** - Sequência de cultivos adotado desde a implantação do experimento em sistema de integração lavoura-pecuária. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....53
- Tabela 3** - Interpretação dos índices nutricionais de nitrogênio (INN), conforme modelo proposto por Lemaire (1997), de fósforo (iP) e potássio (iK), conforme modelo proposto por Duru e Théliier-Huché (1997).....65
- Tabela 4** - Estimativa dos parâmetros a e b do modelo proposto por Lemaire e Salette (1984),  $\%N = a (MS)^{-b}$ , no tratamento N-Fert. Grãos em função de doses de N no feijoeiro. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....108
- Tabela 5** - Estimativa dos parâmetros a e b do modelo proposto por Lemaire e Salette (1984),  $\%N = a (MS)^{-b}$ , no tratamento N-Fert. Pastagem em função de doses de N no feijoeiro. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.....109

## LISTA DE SIGLAS, ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

CQFS	Comissão de Química e Fertilidade do Solo
CTC	Capacidade de troca de cátions
CTA	Capacidade de troca de ânions
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
ILP	Integração Lavoura-Pecuária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
N-Fert. Grãos	Nitrogênio aplicado somente na cultura de grãos feijoeiro
N-Fert. Pastagem	Nitrogênio aplicado somente na pastagem de azevém
N	Nitrogênio
MS	Matéria seca
Ncrit	Nitrogênio crítico
N%	Porcentagem de Nitrogênio
P%	Porcentagem de Fósforo
K%	Porcentagem de Potássio
PR	Paraná
SC	Santa Catarina
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná



## LISTA DE SÍMBOLOS

cm	Centímetro
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Centimol de carga por decímetro cúbico
g	Gramma
ha <sup>-1</sup>	Por hectare
K	Potássio
kg	Quilograma
kg de MS ha <sup>-1</sup>	Quilograma de matéria seca por hectare
kg de N ha <sup>-1</sup>	Quilograma de nitrogênio por hectare
kg ha <sup>-1</sup>	Quilograma por hectare
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
mg dm <sup>-3</sup>	Miligramas por decímetro cúbico
mm	Milímetro
n <sup>o</sup>	Número
N	Nitrogênio
N-mineral	Nitrogênio mineral
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amônio
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato
o	Graus
°C	Graus Centígrados
P	Fósforo
>0,05	Menor que 5 % de significância
pH	Potencial hidrogeniônico
%	Percentual

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>23</b>
2.1 ADUBAÇÃO DE SISTEMAS.....	23
2.2 MANEJO DA ADUBAÇÃO E DA PASTAGEM EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.....	26
2.3 MANEJO DA ADUBAÇÃO E DA CULTURA DA GRÃOS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.....	31
2.4 DINÂMICA DO NITROGÊNIO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.....	34
2.5 DILUIÇÃO DE NUTRIENTES EM PLANTAS E ÍNDICES NUTRICIONAIS.....	40
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>51</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	51
3.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	55
3.2.1 Pastagem de azevém.....	55
3.2.2 Cultura de grãos feijoeiro.....	57
3.3 AVALIAÇÕES DO EXPERIMENTO.....	59
3.3.1 Pastagem de azevém.....	59
3.3.2 Cultura de grãos feijoeiro.....	60
3.4 ANÁLISE LABORATORIAIS.....	62
3.5 VARIÁVEIS ANALISADAS.....	62
3.5.1 Produção de matéria seca, componentes do rendimento e produtividade do feijoeiro.....	62
3.5.2 Avaliação do estado nutricional de plantas.....	63
3.5.3 Análise estatística dos dados.....	65
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>67</b>
4.1 COMPORTAMENTO DO AMÔNIO, NITRATO E N MINERAL NO SOLO.....	67
4.1.1 Avaliação realizada após o cultivo do feijão das secas e antes da semeadura da pastagem de azevém no inverno de 2016.....	67
4.1.2 Avaliação realizada aos quinze dias após a adubação nitrogenada da pastagem de azevém no inverno de 2016.....	69
4.1.3 Avaliação realizada quinze dias após a adubação nitrogenada do feijoeiro na safra 2016/2017.....	77
4.1.4 Avaliação realizada na colheita do feijoeiro na safra 2016/2017.....	89
4.2 ESTADO NUTRICIONAL DO FEIJOEIRO.....	94
4.2.1 Teor de nitrogênio no feijoeiro.....	94
4.2.2 Teor de fósforo no feijoeiro.....	99

4.2.3 Teor de potássio no feijoeiro.....	100
4.2.4 Curva de diluição do nitrogênio no feijoeiro.....	102
4.2.5 Parâmetros estimados para a curva de diluição do nitrogênio no feijoeiro...	106
4.2.6 Determinação da curva crítica de nitrogênio no feijoeiro.....	110
4.2.7 Índice nutricional nitrogenado no feijoeiro.....	114
4.2.8 Índice nutricional de fósforo no feijoeiro.....	119
4.2.9 Índice nutricional de potássio no feijoeiro.....	122
4.3 PRODUTIVIDADE E COMPONENTES DO RENDIMENTO DO FEIJOEIRO.....	124
4.3.1 Produtividade do feijoeiro.....	124
4.3.2 Matéria seca do feijoeiro.....	131
4.3.3 Peso de mil grãos do feijoeiro.....	135
4.3.4 Número de vagens por planta.....	136
4.3.5 Número de grãos por vagem.....	138
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>141</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>143</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>145</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>155</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial, a crescente demanda por alimentos e a reduzida possibilidade de abertura de novas fronteiras agrícolas para a produção de alimentos exige maior eficiência dos sistemas produtivos, fundamentalmente pelo aumento da produtividade e a alocação correta dos fatores de produção.

A eficiência na produção de alimentos não depende, de forma isolada e exclusiva, do uso adequado dos fatores de produção, mas também da adoção de técnicas e conhecimentos sobre os sistemas que poderão proporcionar aumento na biodiversidade e na produtividade dos cultivos, associados a redução de impactos ambientais e do custo de produção com vistas a sustentabilidade ambiental e econômica.

A adoção de sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) visa a redução de impactos ambientais advindos do uso inadequado do solo para a produção de alimentos (MACCARI, 2016), podendo ser adotado a partir dos princípios da semeadura direta, uso racional das pastagens e rotação de culturas na mesma área, o que aumenta a sustentabilidade do sistema produtivo (CARVALHO et al., 2005; BALBINOT JÚNIOR et al., 2009; CARMONA et al., 2018), possibilitando, também, diversidade de atividades e de renda.

Em uma mesma área da propriedade rural, conforme Lopes et al. (2009) e Balbinot Júnior et al. (2009), há oportunidade de integrar a produção de grãos, no verão, com a pecuária que pode ser realizada no inverno. Nesses sistemas é possível potencializar a produção de pasto e a pecuária, tornando a atividade viável, o que segundo Moraes et al. (2002) e Lopes et al. (2009), incrementa a renda por unidade de área, com menor risco econômico dado a menor dependência das condições climáticas.

Os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) são uma excelente alternativa para intensificar e diversificar a produção em propriedades rurais, promovendo a rotação de culturas, a recuperação de solos e de pastagens degradadas, potencializando a eficiência de uso do solo, com melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos por meio do aumento da incorporação de carbono orgânico e da ciclagem de nutrientes, redução de pragas e doenças, redução de custos e aumento de liquidez e renda (CARVALHO et al., 2005). Todas essas

vantagens ocorrem em função da relação sinérgica entre os componentes do sistema solo-planta-animal, que compõem os sistemas integrados de produção (MACCARI, 2016).

O sucesso na adoção de sistemas de ILP depende da correta associação entre a produção animal e vegetal, o que promove nova rotina nas propriedades rurais, pois o exímio pecuarista terá que trabalhar e manejar corretamente a lavoura, já o produtor de grãos terá que trabalhar e manejar adequadamente o pasto e os animais, e para tal, paradigmas terão de ser quebrados e novos conhecimentos e tecnologias terão de ser adotadas. Os sistemas de ILP são uma estratégia promissora na busca por sistemas de produção menos intensivos no uso do N e que sejam sustentáveis, o que pode ser obtido a partir da ciclagem de nutrientes entre a pastagem e a cultura de grãos, podendo-se, neste caso, adotar a adubação de sistemas, que segundo Assmann e Soares (2016), consiste em adubar o sistema de culturas e não somente a cultura em questão, ou como ocorre corriqueiramente, adubar a cultura de grãos com o intuito de que a pastagem possa se beneficiar dos nutrientes.

A adubação de sistemas apresenta um modelo baseado na ciclagem de nutrientes entre as culturas a partir da sucessão de cultivos em uma mesma área. Para atender a demanda da cultura de grãos e da pastagem é preponderante a construção da fertilidade do solo, pois interferências do cultivo antecessor sobre a cultura subsequente podem ocorrer. Em sistemas de ILP os nutrientes apresentam maior eficiência na ciclagem devido a presença do componente animal, o que pode reduzir, em parte, a necessidade de adubação, bem como, aumentar a produtividade dos cultivos (ASSMANN; SOARES, 2016; ASSMANN et al., 2018). A adubação de sistemas considera sob o ponto de vista da ciclagem dos nutrientes, as culturas envolvidas na rotação e sequência de cultivos, ou seja, perpassa as safras agrícolas.

O manejo adequado da pastagem no inverno é fundamental para que esta não se torne um entrave ao sistema, ou seja, é relevante que ao final do período de pastejo se tenha palhada para cobertura do solo e fornecimento de carbono como importante premissa do plantio direto, e que o pisoteio dos animais não resulte em compactação do solo, o que remete em adequação da carga animal em função da disponibilidade de pasto (SOARES et al., 2018). O manejo adequado da pastagem recorre sobre a necessidade de uso de cultivares melhorados, adequada densidade e

profundidade de semeadura, ajuste da carga animal e da altura de pastejo para que se tenha adequada intensidade de pastejo, além da adubação da pastagem (LUSTOSA et al., 2011).

A presença constante dos animais na fase pastagem e a retirada destes para a produção de resíduos vegetais ao final do ciclo de pastejo é fundamental para o atendimento aos preceitos do plantio direto e para a ciclagem dos nutrientes (ASSMANN et al., 2008). Nesta situação, evidencia-se que há grande possibilidade de ciclagem do N via fezes e urina dos animais e resíduos vegetais, os quais apresentam diferentes velocidades de decomposição e mineralização dos nutrientes (LEMAIRE et al., 2008; LEMAIRES et al., 2014). O adequado manejo da pastagem no inverno pode promover efeito residual do N à cultura de grãos no verão, criando uma interface entre os sistemas de cultivo, corroborando a redução das perdas, mediado por microrganismos do solo, o que potencializa a ciclagem dos nutrientes e a absorção pelo cultivo subsequente, resultando em um sistema autorregulado.

Em sistemas de ILP a dinâmica de decomposição dos resíduos remanescentes no solo é alterada pela presença do componente animal, uma vez que o mesmo provoca aumento na velocidade de retorno ao solo, atuando como catalisador das reações (ANGHINONI et al., 2011; ALVES et al., 2015). As deposições constantes de fezes e urina no solo e a presença de raízes e palhada maximizam a atividade biológica (ANGHINONI et al., 2011), resultando em imobilização e mineralização dos nutrientes, promovendo, desta forma, a ciclagem entre as fases do sistema de cultivo (LEMAIRE et al., 2008).

Visando os benefícios e maior produtividade dos sistemas de ILP, é fundamental o planejamento dos ciclos de cultivos para maximizar a produção de pasto, a produtividade animal, bem como a produção de grãos. Após a fase pastagem no inverno e a retirada dos animais da área, é fundamental o rápido estabelecimento da cultura de grãos no verão, e nesse sentido, o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma planta que apresenta boa adaptação aos sistemas de ILP, pois possui ciclo relativamente curto, pode ser cultivado na estação das águas e na estação das secas, além de proporcionar elevadas produtividades quando manejado adequadamente.

O feijoeiro é uma das culturas de grãos que ganhou espaço entre os produtores rurais, com expressivo aumento na área plantada no sul do Brasil, além de se adaptar muito bem ao sistema de ILP (SORATTO; FERNANDES, 2014). O feijoeiro

é uma leguminosa, todavia, possui restrita capacidade de fixação biológica de N, o que resulta na necessidade de adubação nitrogenada visando atingir adequado estado nutricional nitrogenado, resultando em elevadas produtividades. O feijoeiro cultivado após a pastagem de inverno pode se beneficiar dos nutrientes advindos da adubação da pastagem, da deposição de fezes e urina pelos animais e dos resíduos vegetais através do processo de ciclagem de nutrientes e adubação de sistemas, corroborando a nutrição da cultura.

Segundo Lemaire et al. (2008) e Ziadi et al. (2008), a planta é o melhor indicador para a recomendação da adubação nitrogenada, e para tal, a avaliação do teor de N na parte aérea das plantas tem se mostrado um método eficiente para determinar o estado nutricional, o que permite potencializar o processo de adubação nitrogenada, bem como reduzir os riscos de perdas de N.

O N apresenta uma complexa dinâmica no solo, sofrendo influência direta das condições ambientais e da atividade biológica, e a avaliação do estado nutricional das plantas pode ser uma estratégia relevante visando aproximar a necessidade da planta em N à época e dose a ser aplicada. A utilização das curvas de diluição de N é uma das formas de avaliar o estado nutricional nitrogenado das culturas ao longo do ciclo. Se a concentração de N na parte aérea das plantas em função do acúmulo de matéria seca estiver acima da calculada, as plantas encontram-se bem nutridas, havendo consumo de luxo, já se a concentração de N estiver abaixo da calculada, provavelmente as plantas estão passando por um processo de deficiência do nutriente, sendo necessário proceder a adubação (LEMAIRE, 1997).

Ao avaliar o teor de N na parte aérea das plantas e estas, ao apresentar adequado estado nutricional nitrogenado, tendem a um elevado potencial produtivo desde que outros fatores não sejam limitantes (LEMAIRE et al., 2008; LI; HE; JIN, 2012; ZIADI et al., 2008), o que pode ser aplicado ao feijoeiro visando o ajuste da adubação nitrogenada e a disponibilidade de N às plantas de acordo à cinética de absorção pela cultura.

O presente trabalho buscou avaliar o efeito residual da adubação nitrogenada em pastagem hiberna sobre o feijoeiro em um sistema de integração lavoura-pecuária.

O experimento tem suas hipóteses baseadas no manejo da biomassa vegetal dos cultivos em sistema de ILP e na adubação de sistemas, com o intuito da

inversão da adubação nitrogenada. Destaca-se que com esse manejo é possível obter melhor estado nutricional das plantas cultivadas nos sistemas; que a aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N seja suficiente para suprir as necessidades nutricionais da pastagem e resultar em efeito residual para a cultura de grãos subsequente; que a adubação nitrogenada é preponderante para um manejo mais intensivo da pastagem, permitindo elevadas produtividades de matéria seca e ganho de peso pelos animais; que a adubação nitrogenada da pastagem é preponderante para uma melhor nutrição nitrogenada da cultura subsequente, permitindo elevadas produtividades; que o efeito residual do N aplicado na fase de cultura de grãos não seja suficiente para sustentar elevadas produções de forragem; que o manejo da adubação nitrogenada em sistemas de ILP não promova perdas de N por volatilização da amônia e lixiviação do nitrato.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ADUBAÇÃO DE SISTEMAS

A adubação de sistemas busca a máxima eficiência no uso dos nutrientes mediante a ciclagem promovida pela atividade biológica do solo, com vistas a redução de entradas de insumos externos, minimizando perdas e melhorando a fertilidade do solo, sendo o manejo da adubação realizado considerando todas as culturas (ASSMANN; SOARES, 2016).

A adubação de sistemas visa o fornecimento de nutrientes à cultura de inverno com o intuito de que a ciclagem promova a liberação destes à cultura de verão, desta forma, a adubação da pastagem no inverno propiciará melhor desenvolvimento desta, com adequada cobertura do solo, uso dos nutrientes e ganho de peso pelos animais, e ao final do ciclo de cultivo, a manutenção de restos culturais da pastagem sobre o solo, além da deposição de fezes e urina pelos animais, potencializando a atividade biológica e a manutenção dos nutrientes no sistema, principalmente o N, permitindo sua ciclagem à cultura de grãos no verão (ASSMANN et al., 2008; BORTOLLI, 2016; ASSMANN et al., 2018).

Segundo Assmann et al. (2018), Bortolli (2016), Maccari (2016) e Soares et al. (2018), os sistemas de ILP devem preconizar a adubação da pastagem no inverno visando a produção animal e a cultura subsequente via ciclagem dos nutrientes, o que permite antecipar a adubação nitrogenada da cultura de grãos, corroborando à redução das perdas sob condições específicas no verão.

A adubação de sistemas permite melhor aproveitamento dos nutrientes, resultando em menor custo de produção e impactos ambientais (SARTOR et al., 2014), o que foi evidenciado por Bortolli (2016), Bernardon (2016) e Levinski-Huf (2018) ao verificar que a adubação nitrogenada da pastagem aumentou a disponibilidade de N mineral às plantas, resultando em maior produtividade de forragem, além de não resultar em perdas de N por lixiviação de nitrato.

Devido a dinâmica e complexidade do N no sistema solo-planta-animal, é fundamental maximizar a ciclagem do N entre os diversos componentes do sistema quando um mesmo átomo de N aplicado ao solo via fertilizante químico, por exemplo, ureia, seja solubilizado no solo e absorvido pela pastagem, que os animais sob pastejo

utilizem este N na produção de carne ou leite e que este mesmo átomo de N retorne ao solo via fezes e urina, podendo ficar temporariamente imobilizado na biomassa microbiana ou absorvido pela pastagem, e que os animais ainda sob pastejo possam utilizar o mesmo N, que na sequência retornará ao solo via fezes e urina ou resíduos vegetais, com a possibilidade de absorção, agora, pelos cultivos subsequentes. Neste momento pode-se afirmar que a ciclagem do N entre os componentes do sistema foi eficiente, permitindo a produção de pasto, o ganho de peso dos animais e a produção da cultura de grãos subsequente, reduzindo a dependência do N de fontes externas, tornando o ambiente mais sustentável, produtivo e equilibrado, corroborando à maior eficiência no uso do N e a adubação de sistemas.

Anghinoni et al. (2013) destacam que pastejos moderados promovem maior fertilidade do solo devido a ciclagem de nutrientes pelo aporte de resíduos vegetais, todavia, em sistemas com maior intensidade de pastejo há menos resíduos vegetais sobre o solo, o que pode comprometer o sistema e torná-lo dependente de fontes externas. Esta afirmação corrobora ao evidenciado por Rhoden et al. (2017) que verificaram que a adubação nitrogenada da pastagem em um sistema de ILP promoveu aporte de restos culturais sobre o solo e com isso maior ciclagem-m do N, resultando em maior produtividade do feijoeiro.

A interação entre a adubação nitrogenada da pastagem e a intensidade de pastejo são fundamentais para a manutenção da capacidade produtiva do sistema (ASSMANN et al., 2002). Conforme Assmann et al. (2003), os bovinos são componentes das pastagens e atuam sobre as transformações, taxa de ciclagem e disponibilidade dos nutrientes mediante resposta das plantas ao pastejo e a ciclagem de N. Bona Filho (2002) avaliando a influência do pastejo e a contribuição da adubação nitrogenada residual da pastagem de inverno do consórcio de aveia, azevém e trevo branco no rendimento do feijoeiro, evidenciou que os animais em pastejo não reduziram a produtividade do feijoeiro, e que a melhor combinação de N para maiores produtividades animal e vegetal seria a aplicação de 100 kg de N ha<sup>-1</sup> na pastagem e 80 a 120 kg de N ha<sup>-1</sup> no feijoeiro. Em função disso, o autor concluiu que há efeito positivo do pastejo sobre a transferência de N da fase pastagem para a fase cultura de grãos.

Assmann (2001) afirma que o N que não for absorvido pelas plantas poderá ficar retido no sistema, imobilizado nos resíduos orgânicos e/ou

microrganismos, perdido por lixiviação, volatilização ou escoamento superficial, todavia, Alves et al. (2015) e Assmann et al. (2018) destacam que presença de plantas e de resíduos vegetais e raízes são fundamentais para a ciclagem do N da fase pastagem para a fase cultura de grãos.

Plantas de milho cultivadas em áreas que receberam 300 kg de N ha<sup>-1</sup> na pastagem não responderam à adubação nitrogenada de verão em cobertura, o que foi atribuído ao efeito residual da adubação nitrogenada no inverno (ASSMANN, 2001). Sartor et al. (2014) evidenciaram que a produtividade do milho aumentou em função da adubação nitrogenada da pastagem, caracterizando o efeito residual do N à cultura sucessora. Maccari (2016) ao avaliar a matéria seca acumulada do milho em um sistema de ILP cultivado sobre aveia no inverno pastejada por bovinos de corte, evidenciou que a adubação nitrogenada da pastagem resultou na produção de 17,9 t de MS ha<sup>-1</sup>, porém, quando o N foi aplicado somente na cultura do milho o acúmulo de MS foi de 15,9 t ha<sup>-1</sup>, o que pode ser atribuído a ciclagem do N aplicado na pastagem que propiciou melhor nutrição nitrogenada da cultura de grãos.

Assmann et al. (2002) destacam que 65% do nitrogênio, fósforo e potássio absorvidos por bovinos é excretado via fezes e urina, e uma das principais vantagens dos sistemas de ILP é o aproveitamento e a ciclagem de nutrientes que ora estão no solo, na biomassa vegetal e posteriormente ao pastejo descartados via fezes e urina, retornando ao solo, podendo ser absorvidos novamente pela pastagem e retornando à produção animal. Esta ciclagem é fundamental para o sucesso do sistema.

Em pastejo contínuo, onde os animais ficam constantemente sobre a pastagem, observa-se o retorno dos nutrientes via fezes e urina, e segundo Assmann e Soares (2016), permite uma rápida ciclagem de nutrientes, maximizando seu uso dentro do sistema solo-planta-animal, sendo o animal componente preponderante nesta dinâmica. Os autores destacam que neste sistema há um aumento da população microbiana, que temporariamente pode imobilizar o N, evitando perdas, todavia, devido a rápida ciclagem dos microrganismos no solo, o N pode ser mineralizado e disponibilizado à cultura atual ou futura, caracterizando o processo de ciclagem de nutrientes e corroborando a possibilidade de adubação de sistemas.

## 2.2 MANEJO DA ADUBAÇÃO E DA PASTAGEM EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Os sistemas integrados de produção agropecuária apresentam dinâmica diferente quando comparados aos sistemas que abrangem somente a produção de grãos ou animal. Quando se integram sistemas de produção há uma alteração importante devido ao sinergismo entre as partes integrantes deste sistema, neste caso o solo, a planta e o animal (CARVALHO et al., 2010), o que segundo Anghinoni et al. (2011), promove comportamento diferenciado dos nutrientes, pois estes ciclam entre os compartimentos do sistema, retornando ao solo pela deposição de fezes e urina dos animais e resíduos vegetais da pastagem.

A adubação nitrogenada da pastagem no inverno apresenta diversos benefícios ao sistema de ILP, dentre os quais Sandini et al. (2011), Soares et al. (2015) e Assmann et al. (2018) destacam:

- No inverno o preço dos fertilizantes nitrogenados é inferior as demais épocas do ano;
- No inverno as perdas de N por volatilização são menores devido às temperaturas amenas, menor radiação solar e chuvas menos torrenciais;
- A produção animal é incrementada devido a maior massa de forragem produzida e por ser de melhor qualidade;
- As culturas de inverno apresentam menor espaçamento e maior população de plantas, o que promove maior cobertura do solo e densidade de raízes para a absorção do N, reduzindo a possibilidade de perdas;
- Pastagens de Poaceas apresentam sistema radicular fasciculado e desenvolvido, com capacidade para explorar o solo, aumentando a possibilidade de absorção do N do solo.

Ao avaliar os benefícios químicos, físicos, biológicos, econômicos e ambientais que um sistema de produção pode proporcionar, é fundamental que se realize o manejo visando todo o sistema, o que vem de encontro a uma nova estratégia de adubação, a adubação de sistemas (ASSMANN; SOARES, 2015). Assmann (2001) e Sandini et al. (2011) destacam que a aplicação do N na fase pastagem de um sistema de ILP incrementa a produção de forragem, com maior potencial de produção animal, além do efeito residual do N da fase pastagem para a fase cultura de grãos,

subsequente à pastagem.

A adubação nitrogenada incrementa a disponibilidade de N às plantas, aumentando a produção de matéria seca e a taxa de crescimento, com maior capacidade de suporte e de pastejo (CASSOL et al., 2003). Em função disso, Pellegrini et al. (2010) avaliaram a produção de MS de azevém em função de doses de N (0; 75; 150; 225 Kg ha<sup>-1</sup>) sob pastejo de cordeiros e evidenciaram que o aumento na dose de N promoveu maior acúmulo e produção de forragem, com incremento de 29 kg ha<sup>-1</sup> de MS a cada 10 kg de N aplicados.

O sucesso do sistema de ILP, segundo Assmann e Pin (2008), depende de pelo menos duas estratégias de manejo, o ajuste da pressão de pastejo ou da intensidade de utilização da pastagem e da adubação da pastagem, com destaque para o N, o qual é promotor essencial do crescimento, produtividade e qualidade do pasto. Na maioria das situações típicas em propriedades rurais a adubação da pastagem ainda é vista como cara e em muitos casos desnecessária, o que resulta no esgotamento da fertilidade do solo e na degradação da pastagem, prejudicando diretamente toda dinâmica do sistema solo-planta-animal (LUSTOSA et al., 2011). De forma semelhante, Assmann e Pin (2008) destacam que o manejo da pastagem, em muitos casos, não é realizado de forma correta, com pastejo excessivo e elevada carga animal, o que somado a não adubação para reposição dos nutrientes exportados, provoca a degradação química, física e biológica do ambiente, o que compromete o sistema de ILP.

Aiolfi (2018) e Soares et al. (2018) destacam que em sistemas de ILP a adubação nitrogenada e a presença de animais em pastejo promovem benefícios a todo o sistema, e segundo Assmann et al. (2018), um dos principais é a ciclagem de nutrientes. O manejo correto do pasto em sistemas integrados de produção, segundo Kunrath et al. (2015), é decisivo, não somente para a obtenção de elevados rendimentos na fase pastagem e produção animal, mas também para permitir elevados rendimentos quando iniciada a fase lavoura, evitando-se, para tal, elevadas e baixas taxas de lotação, o que pode comprometer os processos químicos, físicos e biológicos de todo o sistema. De acordo com Assmann (2002), Balbinot Júnior et al. (2009) e Silva et al. (2008), o manejo adequado da pastagem é fundamental para o sucesso da ILP, principalmente em relação a adubação e altura do pasto, pastos manejados em alta altura ou menor intensidade de pastejo resultam em maior

quantidade de matéria seca, com possibilidade de alocação interna do N pelas plantas e menor dependência de fontes externas, já em pastos manejados em baixa altura ou maior intensidade de pastejo, há menor quantidade de matéria seca das plantas, o que torna estas dependentes de fontes externas de N para recuperação do aparato fotossintético.

Silva et al. (2008) e Anghinoni et al. (2013) destacam que em sistema de ILP os animais em pastejo modificam os fluxos dos nutrientes na pastagem, fundamentalmente pelo consumo de forragem, senescência e deposição de material vegetal, bem como pela adição de fezes e urina, atuando de maneira importante sobre a disponibilidade e ciclagem do N. A presença dos animais em pastejo causa heterogeneidade no solo, na pastagem e na deposição de fezes e urina (SOARES et al., 2018), portanto, o ajuste da carga animal e da intensidade de pastejo é fundamental para evitar a degradação do pasto (MORAES et al., 2014). A relação entre altura do pasto e a massa de forragem configuram importantes ferramentas de manejo, pois ao controlar a altura pode-se, indiretamente, controlar inúmeros componentes do sistema (KUNRATH et al., 2015). Sartor (2009) destaca que a intensidade de pastejo está diretamente ligada a capacidade de absorção de nutrientes pela pastagem, o que influenciará sua capacidade de rebrote e qualidade.

A adubação da fase pastagem em sistemas ILP, muitas vezes é negligenciada, devido ao pensamento de que a pastagem se beneficia da adubação da lavoura, sendo, portanto dispensável. Além da falta de adubação, a carga animal elevada leva ao processo de degradação da pastagem (CARVALHO et al., 2006). Para maximizar o uso do N pelas plantas, é fundamental fazer o adequado manejo da adubação nitrogenada, aplicando a quantidade necessária para garantir elevada produção de biomassa vegetal, o que potencializa o efeito do N sobre a forrageira.

Conforme Lupatini et al. (1998), além da adubação de base com N, P e K, a adubação nitrogenada em cobertura no estágio de perfilhamento das pastagens anuais de inverno favorece a antecipação do início do pastejo, pois promove incremento na produção de MS e melhora a qualidade da forragem. Todavia, Cassol et al. (2011) destacam que na maioria das propriedades rurais os produtores fazem maior investimento em adubação na cultura de grãos com o intuito de obter elevada produtividade, não adubando, e quando muito, utilizando subdoses na pastagem, crendo em um possível efeito residual da adubação da cultura de grãos sobre a

pastagem. Destacam também que este é um grave erro de manejo da pastagem que compromete o crescimento e a produtividade da forrageira.

No Sul do Brasil, conforme Balbinot Júnior et al. (2009), ainda há muitas áreas que ficam em pousio no inverno, sujeitas a perdas de solo por erosão, presença de plantas invasoras, menor entrada de C e N no sistema, o que afeta diretamente a qualidade do solo. Neste caso, a adoção do sistema de ILP no inverno tornaria o uso da área mais intensivo e sustentável ao longo do tempo, desde que bem manejado (ANGHINONI et al., 2013).

Ao avaliar a produção animal e a MS de aveia branca consorciada com azevém na ausência e presença de trevo branco em sistema de ILP, Assmann et al. (2004) evidenciaram aumento de 76% na taxa de acúmulo de MS da mistura forrageira, com aumentos significativos na produção de MS, carga animal e ganho de peso  $\text{ha}^{-1}$  com a aplicação de 300 kg de N  $\text{ha}^{-1}$ . Soares e Restle (2002) ao avaliar a produção animal e a qualidade da forragem de triticale e azevém submetidas a doses de N, evidenciaram aumento na produção de MS e no teor de proteína bruta, todavia, doses superiores a 300 kg  $\text{ha}^{-1}$  resultaram em perdas de N por lixiviação, com menor eficiência no uso do N. Em função disso, Carvalho et al. (2007) destacam que é fundamental aplicar doses corretas de N às culturas, minimizando excessos e perdas, as quais resultam em impactos ambientais e aumento do custo de produção.

Ao avaliar a produção de forragem de azevém no mesmo experimento desta tese, Aiolfi (2018) evidenciou que independentemente da altura de pasto, quando a pastagem recebeu adubação nitrogenada houve maior produção de forragem, o que indica que a adubação realizada na cultura de grãos não supre a necessidade em N da pastagem. Da mesma forma, Bernardon (2016) evidenciou que a adubação nitrogenada da cultura de grãos anterior à pastagem não apresentou efeito residual para sustentar elevadas produções de forragem. Costa e Silva (2011) relataram que a nutrição nitrogenada é fundamental às pastagens, pois maximiza o rebrote, principalmente quando não pastejada de forma excessiva, com maior eficiência na retomada do crescimento devido a manutenção do aparato fotossintético.

Ao analisar o teor de N na massa de forragem de *Urochloa plantaginea* (papuã), Sartor (2009) observou tendência de redução quanto maior a massa de forragem, reduzindo de 20 g  $\text{kg}^{-1}$  para 19,4 g  $\text{kg}^{-1}$  da baixa para a alta massa de forragem, respectivamente. Essa diferença ocorre em função da maior proporção de

folhas em relação ao colmo quando a pastagem apresenta baixa massa de forragem, havendo diferença nos teores de fibra, na qualidade e na quantidade de perfilhos novos. Mesmo os tratamentos recebendo condições parecidas de fertilidade e clima, a que apresentar maior massa de forragem tende a ter o N mais diluído quando comparado as menores massas de forragem, o que segundo Lemaire (1997), é normal em plantas e esse efeito é caracterizado como diluição do N.

Ao avaliar a intensidade de pastejo e a antecipação da adubação nitrogenada em pastagem de aveia preta, Rissi (2015) constatou que a oferta de forragem teve acréscimo de 20% quando a pastagem recebeu adubação nitrogenada, destacando que para maiores produções de forragem é fundamental proceder a adubação da pastagem, pois o efeito residual da adubação da cultura de grãos anterior à pastagem praticamente não ocorre, o que compromete a produção de pasto.

Follmann (2015) ao avaliar a dinâmica do N mineral em função da adubação nitrogenada da pastagem e do milho em sistema de ILP evidenciou que o N aplicado na pastagem apresenta efeito residual para a cultura de grãos no verão, sendo este efeito atrelado ao sistema que permite adequada nutrição nitrogenada da pastagem de inverno e a presença de animais em pastejo.

A adubação da pastagem de inverno permite maior produção de forragem e animal (SOARES; RESTLE, 2002), menor probabilidade de perdas de N via volatilização da amônia (LIMA, 2018), maior diversidade e ativação da microbiota do solo (ASSMANN et al., 2018) e eficiência no uso do N (BERNARDON, 2016).

Toda a dinâmica do crescimento dos pastos que se observa acima do solo também acontece abaixo dele, no sentido de que o crescimento das raízes está diretamente relacionado ao crescimento da parte aérea da planta (KUNRATH et al., 2015). Piazzetta et al. (2014) destacam que a remoção de parte das folhas pelo pastejo estimula a planta a promover o desenvolvimento radicular buscando a absorção de água e nutrientes, o que resulta em recuperação da parte aérea e retomada do processo fotossintético. Já em áreas com baixa intensidade de pastejo ou sem pastejo, Kunrath et al. (2015) destacam que praticamente não há renovação da parte aérea, resultando em pequena produção e crescimento de raízes, podendo resultar em perdas de nutrientes no sistema.

Para Alves et al. (2015), em sistemas de ILP, quanto maior a quantidade de resíduos da parte aérea e das raízes, maior será o volume de nutrientes ciclados



entre a fase pastagem e a fase lavoura, o que permite afirmar que os resíduos vegetais, segundo Assmann et al. (2018) e Levinski-Huf (2018), são importante meio de transporte dos nutrientes da fase pastagem para a fase lavoura.

Conforme Assmann et al. (2003), além da adubação nitrogenada, a intensidade de pastejo e a interação entre estes é fundamental para o equilíbrio do ecossistema. Os autores destacam que bovinos sob pastejo promovem transformações nas formas e na dinâmica dos nutrientes, corroborando a ciclagem destes e ao processo de mineralização e imobilização do N, estando esse processo atrelado, segundo Anghinoni et al. (2011), a entrada de fezes e urina pelos animais e a presença de resíduos vegetais sobre o solo.

### 2.3 MANEJO DA ADUBAÇÃO E DA CULTURA DA GRÃOS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Na região Sul, as culturas do milho e feijão são importantes alternativas de uso em áreas agrícolas e de renda ao produtor rural (BALBINOT JUNIOR et al., 2009), todavia, a soja ainda é a principal cultura (SANDINI, 2009). As produtividades das culturas no verão podem ser maximizadas quando se adota os sistemas de ILP, principalmente quando a cultura de grãos no verão é precedida por uma cultura de inverno sob pastejo (ASSMANN et al., 2018; BALBINOT JUNIOR et al., 2009; BALBINOT JUNIOR et al., 2011; SANDINI, 2009; SOARES et al., 2018).

Ao avaliar a influência do pastejo e da adubação nitrogenada residual da pastagem de inverno do consórcio aveia, azevém e trevo branco no rendimento de feijoeiro, Bona Filho (2002) evidenciou que o pastejo não reduziu a produtividade da cultura, e que para maximizar a produção animal e vegetal a melhor combinação foi aplicar 100 kg de N ha<sup>-1</sup> na pastagem e de 80 a 120 kg ha<sup>-1</sup> no feijoeiro. Esse manejo permite efeito positivo da adubação de sistemas devido a transferência de N da fase pastagem para a cultura de grãos.

Assmann et al. (2018) destacam que a manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo e a deposição de fezes e urina pelos animais favorece a atividade biológica no solo, com mineralização do N, maximizando a ciclagem de nutrientes e o fornecimento de N ao longo do ciclo da cultura subsequente. Os autores destacam que esse fenômeno de ciclagem dos nutrientes entre as fases de um

sistema quando manejado em ILP é possível devido ao efeito da “memória do solo”, e que experimentos realizados ao longo dos anos evidenciam que as parcelas que recebem adubação nitrogenada e mantidas sob pastejo promovem maior ciclagem de nutrientes, com aporte de N via adubação, fezes e urina dos animais, fazendo com que a microbiota do solo seja ativada, promovendo a ciclagem do N entre as culturas.

A condição de ciclagem de nutrientes entre as fases de um sistema pela palhada residual da pastagem e a deposição de fezes e urina pelos animais tem promovido aumento na produtividade das culturas de grãos (CARVALHO, 2018; BORTOLLI, 2016; LEVINSKI-HUF, 2018; MACCARI, 2016). Além disso, a aplicação antecipada de fertilizantes pode ser uma alternativa para tornar mais rápida a operação de semeadura da próxima cultura, flexibilizando o cronograma operacional da propriedade (ASSMANN et al., 2018).

Kaminski (2013) evidenciou que a produtividade de milho é influenciada pela adubação nitrogenada da pastagem, o que se deve ao efeito residual do N e pelo pastejo, com produção de milho de  $12.962 \text{ kg ha}^{-1}$  em áreas pastejadas com o uso de  $239 \text{ kg de N ha}^{-1}$  na cultura, já nas áreas sem pastejo a produtividade foi de  $11.469 \text{ kg ha}^{-1}$  com a aplicação de  $216 \text{ kg de N ha}^{-1}$  na cultura.

Ao avaliar a produtividade do milho em área de ILP, Assmann et al. (2003) verificaram que quando a pastagem foi adubada com  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, não se obteve aumento na produtividade de milho pela aplicação de mais N na cultura. Nesse manejo a produção de grãos foi de  $10.006 \text{ kg ha}^{-1}$ , indicando que grande parte do N aplicado no inverno estava disponível para a cultura de grãos no verão. Bortolli (2016) não observou aumento na produção de milho ao aplicar diferentes doses de N quando a pastagem recebeu  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ , tanto em baixa como em alta intensidade de pastejo. O autor destaca que a produtividade de milho foi 14,7% maior nos tratamentos que receberam N na pastagem em relação aos tratamentos que receberam N apenas no milho.

A adubação nitrogenada em cobertura do feijoeiro promoveu benefícios nos componentes do rendimento e na produtividade, todavia, quando a cultura antecessora, no caso o milho, recebeu adubação nitrogenada nas doses entre  $120$  a  $150 \text{ kg de N ha}^{-1}$ , Garcia et al. (2006) evidenciou incremento na produtividade do feijoeiro. Silveira et al. (2005) também observou efeitos positivos da adubação nitrogenada da cultura antecedente sobre a produtividade do feijoeiro em sucessão.

Sistemas manejados com cobertura de solo ou com pastagens anuais não afetam a produtividade do feijoeiro quando cultivado em sucessão, todavia, visando maximizar a lucratividade do sistema, Balbinot Junior et al. (2012) recomendam a utilização do pastejo nessas áreas visando diversificação da produção e da renda.

Quando se adota sistemas intensivos com remoção da palhada e dos nutrientes, como o milho para silagem, Levinski-Huf (2018) destaca que a retirada da planta inteira impossibilita, de certa forma, a ciclagem de nutrientes. Quando a autora cultivou feijão das secas após o milho silagem não evidenciou efeitos positivos da “memória do solo”, destacando que nas parcelas em que a pastagem não recebeu adubação nitrogenada em cobertura e as plantas foram mantidas em alta altura, o feijoeiro conduzido após o milho silagem apresentou menor número de vagens planta<sup>-1</sup>, o que pode estar atrelado a um ambiente deficiente em nutrientes, prejudicando a produção de vagens pelo feijoeiro.

A adubação nitrogenada da pastagem de inverno proporcionou incremento na produção de forragem e na produtividade animal, influenciando positivamente a produção de feijão como cultura subsequente (BONA FILHO; PELISSARI, 2003). Da mesma forma, Silveira et al. (2012) observaram que a adubação nitrogenada da aveia sob pastejo resultou em maior produtividade de milho em relação as áreas não pastejadas. Assmann et al. (2003) e Sandini et al. (2011) ao avaliar doses de N aplicadas em pastagem anual de inverno em sistema de ILP, evidenciaram que a produtividade de milho cultivado após a pastagem, mesmo recebendo 200 kg de N ha<sup>-1</sup>, não resultou em incremento de produção em relação as parcelas que receberam N somente no inverno, o que demonstra o potencial de ciclagem do N entre as fases de um sistema de ILP quando a cultura de inverno recebe adubação nitrogenada.

Ao avaliar a antecipação da adubação nitrogenada para o milho, sendo esta realizada na pastagem de inverno pastejada por ovinos, Alves et al. (2015) evidenciaram que a aplicação de 75 kg ha<sup>-1</sup> de N comprometeu a produção da pastagem e da lavoura, afirmando que esta dose de N resulta num sistema pouco nutrido. Já Andreolla et al. (2015) verificaram incremento na produtividade de milho em áreas pastejadas (10.220 kg ha<sup>-1</sup>), com exceção do tratamento sem aplicação de N (9.636 kg ha<sup>-1</sup>), concluindo que a aplicação de pelo menos 150 kg de N ha<sup>-1</sup> promove maior produção da pastagem e de milho.

Silva et al. (2014) destacam que a presença de animais em pastejo em sistemas de ILP atuam diretamente sobre a ciclagem de nutrientes para as culturas subsequentes, pois o pastejo estimula o crescimento das plantas e a absorção de nutrientes do solo, a deposição de fezes e urina promove o retorno de nutrientes ao solo e com isso sua ciclagem. Nesse sentido, manter o pasto em baixa altura devido a maior carga animal potencializa a ciclagem de nutrientes pela entrada de fezes e urina, já a manutenção do pasto em alta altura devido a menor carga animal resulta em maior senescência de plantas, intensificando de outra forma a ciclagem de nutrientes via decomposição foliar.

De forma suscita, a adubação nitrogenada da pastagem em sistemas de ILP resulta em maior produção de biomassa com aporte de C no sistema, o que promove melhoria na qualidade do solo, ciclagem de nutrientes e produtividade da fase lavoura. Todavia, abdicar da adubação da pastagem em virtude da crença de que esta irá se beneficiar da adubação realizada na cultura de grãos poderá gerar consequências negativas ao sistema, tais como menor produção de forragem, menor ciclagem de nutrientes, menor aporte de C ao solo, o que poderá resultar em menor produtividade do sistema (ANGHINONI et al., 2011; BERNARDON, 2016; ASSMANN et al., 2018).

Nesse sentido, Anghinoni et al. (2011), Assmann et al. (2008), Gastal et al. (2015), Lemaire et al. (2014) e Sandini et al. (2011), destacam que a adubação nitrogenada, além de aumentar o rendimento de forragem, pode melhorar o desempenho das culturas semeadas em sucessão, devido ao aproveitamento do N residual, destacando que os sistemas de ILP surgem como uma estratégia promissora para desenvolver sistemas de produção menos intensivos no uso de insumos e, por vez, mais sustentáveis ao longo do tempo.

## 2.4 DINÂMICA DO NITROGÊNIO EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Em sistemas de ILP a dinâmica dos nutrientes é diferente em relação aos sistemas tradicionais, inclusive o plantio direto, o que se deve ao fato que sistemas que incluem a presença do componente animal resultam em maior quantidade e

diversidade de compartimentos, o que potencializa a ciclagem dos nutrientes (ASSMANN et al., 2018).

Em todo e qualquer sistema o nitrogênio (N) é um macronutriente essencial e que constitui vários componentes celulares, estando presente em aminoácidos, enzimas, proteínas, DNA, RNA e clorofila (ALEXANDER, 1967; TAIZ; ZEIGER, 2013). As principais reações bioquímicas em plantas e microrganismos são geridas pela presença de N, o que o torna um dos nutrientes absorvidos em maiores quantidades, em função disso, para maximizar a produtividade dos cultivos é fundamental que se faça um adequado manejo da adubação nitrogenada (MENGEL; KIRKBY, 2001).

A grande maioria das transformações que ocorrem com o N são mediadas metabolicamente por microrganismos autotróficos e heterotróficos, sendo fortemente influenciados pelas condições físico-químicas prevalentes no ambiente (HERBERT, 1999). Segundo Camargo et al. (1999) e Aita et al. (2003), de 95 a 98% do N do solo é de natureza orgânica, sua disponibilização as plantas como N mineral depende do processo de mineralização que é mediado por microrganismos, portanto, dependente da atividade biológica. Sob este aspecto, Assmann et al. (2008) destacam que a atividade biológica é fundamental no processo de mineralização e disponibilização do N as plantas, potencializando a ciclagem de nutrientes no solo e maximizando a eficiência no uso do N pelas culturas.

O N orgânico do solo é mineralizado por microrganismos e transformado em N mineral na forma química amônio ( $\text{NH}_4^+$ ). Em ambiente aeróbio, o  $\text{NH}_4^+$  é nitrificado à nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) mediante atividade biológica, sendo estas formas de N passíveis de absorção pelas plantas. O  $\text{NH}_4^+$  sob determinadas condições de pH, umidade e temperatura, pode ser transformado à amônia ( $\text{NH}_3$ ), que é um gás e passível de perdas por volatilização. O  $\text{NH}_4^+$  também pode ser adsorvido aos colóides do solo, absorvido pelas plantas ou imobilizado na biomassa microbiana. Já o N na forma nítrica pode ser adsorvido aos colóides do solo, absorvido pelas plantas, imobilizado na biomassa microbiana ou passível de lixiviação (CAMARGO et al., 1999; MEURER, 2012; HARGROVE, 1988).

Devido as possibilidades de perdas de N no solo e visando o aproveitamento deste importante nutriente, é fundamental que se tenha sempre planta crescendo sobre o solo, com raízes ativas e que estimulam a atividade biológica de

microrganismos do solo, corroborando para redução nas perdas de N (ASSMANN; SOARES, 2015; ASSMANN et al., 2018; SOARES et al., 2018). Também, é fundamental que adequadas práticas agronômicas sejam adotadas visando minimizar as perdas de N, potencializando seu uso e a produtividade dos cultivos (HERBERT, 1999; GASTAL; NELSON, 1994; LANG et al., 2011; LEMAIRE; JEUFFROY; GASTAL, 2008).

Nos sistemas de ILP, onde se tem a presença do componente solo-planta-animal atuando de forma individual e também integrada, a dinâmica química, física e biológica do solo é alterada, sobremaneira a de nutrientes. Os sistemas de ILP apresentam uma dinâmica um tanto diferente quando comparados aos sistemas que abrangem somente a produção de grãos ou a produção animal. Quando se integram sistemas de produção há uma alteração importante devido ao sinergismo entre as partes integrantes deste sistema, neste caso o solo, a planta e o animal (CARVALHO et al., 2010). Conforme destacam Anghinoni et al. (2011), os sistemas de ILP promovem comportamento diferenciado dos nutrientes, pois estes ciclam entre os compartimentos, retornando via fezes, urina e deposição de resíduos vegetais.

Lemaire et al. (2004) destacam que para potencializar a produção dos cultivos é fundamental o fornecimento de N via adubação, todavia, o N mineral altera a atividade biológica e a dinâmica de decomposição dos resíduos orgânicos, o que pode interferir diretamente na disponibilidade momentânea e de médio prazo de N às plantas.

Assmann et al. (2003) destacam que bovinos sob pastejo promovem transformações nas formas e na dinâmica do N, corroborando a ciclagem e ao processo de mineralização e imobilização, estando esse processo diretamente atrelado, segundo Anghinoni et al. (2011), a entrada de C e N via fezes e urina dos animais. Devido a dinâmica do N em sistemas de ILP, é fundamental maximizar a ciclagem do N entre os diversos componentes do sistema, sendo relevante que o mesmo átomo de N inserido no sistema via fertilizante permita a produção de pasto no inverno, a produção dos animais sob pastejo e que possa retornar ao sistema via fezes e urina dos animais ou resíduos vegetais, sendo imobilizado temporariamente na biomassa microbiana e mais adiante, absorvido pela cultura subsequente, o que expressa a capacidade de ciclagem do N no sistema com maximização na produção animal e vegetal, tornando o ambiente mais sustentável, produtivo e equilibrado.

Visando o aproveitamento do N entre a fase pastagem e a fase cultura de grãos em um sistema de ILP, potencializando sua ciclagem, com redução do custo de produção e dos impactos ambientais, Assmann e Soares (2015) e Anghinoni et al. (2015) destacam que não é interessante realizar somente a adubação da cultura de grãos e negligenciar a adubação da pastagem, haja visto a exportação de nutrientes do sistema. Anghinoni et al. (2011), Assmann et al. (2018), Silva et al. (2014) e Soares et al. (2018) destacam que os animais sob pastejo em sistemas de ILP atuam diretamente sobre a ciclagem de nutrientes para as culturas subsequentes, o que se deve ao fato que o pastejo que estimula o crescimento das plantas e a absorção de nutrientes do solo, associado a deposição de fezes e urina pelos animais e resíduos vegetais das plantas, potencializado o retorno dos nutrientes ao solo e a ciclagem.

Ao avaliar o efeito da altura do pasto e da adubação nitrogenada em pastagem consorciada de aveia e azevém, Bernardon (2016) evidenciou que aos 10 dias da adubação nitrogenada houve aumento na disponibilidade de N mineral no solo na camada de 0 a 5 cm de profundidade, não verificando lixiviação de nitrato no perfil de solo em única aplicação de 200 kg de N ha<sup>-1</sup>. Na avaliação realizada após a retirada dos animais a autora verificou que os teores de nitrato diminuíram com a profundidade do solo em relação a coleta anterior, o que permitiu afirmar que boa parte do N mineral disponível às plantas foi absorvido pela cultura ou imobilizado na biomassa microbiana no período de pastejo. Levinski-Huf (2018) evidenciou que a adubação de sistemas não provocou perda de nitrato por lixiviação no perfil de solo, mesmo na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N em única aplicação em cobertura na pastagem de azevém. A autora destacou haver maior teor de nitrato no solo na camada de 0 a 5 cm, tanto no azevém na fase pastejo, quanto no feijoeiro das secas na fase cultura de grãos. Primavesi et al. (2006) afirmam que ao aplicar doses iguais ou inferiores a 500 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> há baixo potencial de contaminação do lençol freático com nitrato em solos profundos.

Devido à preocupação com a lixiviação do nitrato e contaminação das águas do lençol freático e águas profundas, Ketterings et al. (2012) determinaram que teores superiores a 25 mg de nitrato kg<sup>-1</sup> de solo podem indicar potencial lixiviação.

A maior disponibilidade de N mineral no perfil de solo explorado pelas raízes das plantas é fundamental para a nutrição das plantas, todavia, segundo Assmann et al. (2003), há possibilidade de lixiviação do nitrato em sistemas de ILP não adequadamente manejados, principalmente quando da elevada intensidade de

pastejo, maior deposição de fezes e urina pelos animais, negligência no manejo da adubação e ausência de restos culturais após a fase pastagem. Camargo et al. (1999), Bona Filho (2002) e Bélanger et al. (2003) destacam que a eficiência de utilização do N por plantas está relacionada a diversos fatores, tais como condições meteorológicas, época de aplicação do N e teor de N mineral no solo, além da mineralização do N dos restos culturais e matéria orgânica.

Sartor et al. (2011) ao avaliar doses de N em pastagem de *Urochloa plantaginea* (papuã) manejada sob diferentes alturas de pastejo, evidenciaram menor teor de nitrato no solo nas parcelas com menor taxa de lotação, o que se justifica pela maior massa de forragem, havendo maior absorção de N pelas plantas, já nas parcelas com menor massa de forragem evidenciou-se maior deposição de fezes e urina pelos animais, retornando mais N ao solo e com isso maior teor de nitrato. Levinski-Huf (2018) evidenciou que a aplicação de 200 kg de N ha<sup>-1</sup> no perfilhamento do azevém associado a maior intensidade de pastejo proporcionou ciclagem mais rápida do N mineral no solo após a saída dos animais. A pastagem de azevém que recebeu N e maior deposição de fezes e urina, possivelmente apresentou resíduos vegetais com menor relação C/N, sendo rapidamente decomposta, mineralizando o N. A autora evidenciou que ao manejar a pastagem de azevém em baixa altura (maior taxa de lotação), maior foi o teor de nitrato no solo aos 10 cm de profundidade avaliado dois dias após a retirada dos animais da área (6,98 mg kg<sup>-1</sup>) em relação as parcelas em que o N foi aplicado na cultura de grãos anterior a pastagem (2,04 mg kg<sup>-1</sup>), indicando que a adubação nitrogenada da pastagem promoveu maior produção de MS e efeito residual do N no solo até o final do período de pastejo. Da mesma forma, Bortolli (2016) evidenciou maior teor de nitrato no solo nas parcelas com o pasto manejado em baixa altura, o que está atrelado a maior taxa de lotação e deposição de fezes e urina pelos animais.

Diversos autores supracitados evidenciaram menor teor de nitrato no solo com a profundidade em sistemas de ILP, o que indica menor risco de perda por lixiviação, mesmo em adubações com doses elevadas de N. Segundo Dynia e Camargo (1999) e Meurer et al. (2000), solos altamente intemperizados, como os Latossolos Vermelhos derivados do basalto, há presença de cargas pH dependentes, e, portanto, variáveis, o que permite a coexistência de CTC e CTA ao longo do perfil do solo, sobretudo em profundidades superiores aos 20 cm devido ao menor teor de



matéria orgânica, o que permite a adsorção do nitrato, reduzindo a possibilidade de perdas por lixiviação. Anghinoni et al. (2011), Assmann et al. (2018) e Kunrath et al. (2015) destacam a necessidade de haver sempre plantas crescendo sobre o solo, em condição de pousio zero, para que estas absorvam o nitrato. Os autores destacam que em sistemas de ILP o pastejo por animais resulta na colheita das plantas, o que promove absorção de água e nutrientes para reposição do aparato fotossintético e rebrote, o que aumenta a competição por nutrientes, corroborando a potencial redução das perdas e aumento da ciclagem.

Diversos trabalhos têm relatado elevadas perdas de N quando aplicado na forma de ureia em superfície no solo, superando os 50% segundo Lara Cabezas e Yamada (1999) e os 78% segundo Sangoi et al. (2003), todavia, mesmo com consideráveis perdas de N no sistema plantio direto, as produtividades não foram inferiores (NASCENTE et al., 2017). Buscando maximizar o uso do N na produção de culturas e intensificar o uso das terras, os sistemas de ILP trazem as premissas do plantio direto associadas ao cultivo de pastagens no inverno e a produção de culturas de grãos no verão, o que segundo Assmann (2001), permite mudanças no manejo do solo e dos fertilizantes, intensificando a ciclagem dos nutrientes entre as fases do sistema, com redução das perdas, sobretudo o N.

Ao avaliar a volatilização da amônia no mesmo experimento desta tese, Lima (2018) evidenciou perdas inferiores a 1,5 % do total do N aplicado ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$  em única aplicação, fonte ureia) na fase pastagem durante o inverno, e perdas de 5,5 % quando cultivado feijão como cultura de grãos no verão, recebendo doses de N (0; 50; 100 e  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ ). De forma surpreendente, as menores perdas foram evidências nas maiores doses de N.

Ao avaliar a taxa de volatilização da amônia em função da altura de pasto e adubação nitrogenada em sistema de ILP, Ribeiro et al. (2018) evidenciaram perdas inferiores a 1% do N aplicado em cobertura na aveia preta, o que se deve a grande quantidade de MS sobre o solo e a presença do componente animal. Os autores concluem que a aplicação de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N resultou em maior perda de N por volatilização, e que as alturas de pastejo de 7 e 15 cm resultaram em semelhante perda de amônia.

Ao avaliar as perdas de amônia após aplicação de ureia em um sistema de ILP, Lima (2018) verificou menores perdas de N nas parcelas em que a pastagem

foi mantida em baixa altura (10 cm), o que pode estar atrelado a presença do componente animal, com aporte de fezes e urina, maior atividade biológica e menor relação C/N dos resíduos, influenciando os processos de mineralização e imobilização do N, favorecendo uma rápida decomposição dos resíduos e o aproveitamento do N, potencializando a ciclagem e reduzindo as perdas.

Lima (2018) e Assmann et al. (2018) destacam que em quatro cultivos sucessivos em um sistema de ILP houve baixas perdas de N por volatilização de amônia mediante adubação nitrogenada com ureia, o que permite afirmar que não é necessário substituir a fonte de N, todavia, se torna relevante modificar o manejo da adubação nitrogenada, tanto a época de aplicação como a dose, adotando para tal, a adubação de sistemas.

Em sistemas de ILP a deposição de fezes e urina pelo componente animal e a presença dos restos culturais das plantas promovem a intensificação da atividade biológica no solo pelo aporte de C e N, o que potencializa a ciclagem de nutrientes entre as fases do sistema, bem como aumenta a eficiência de uso dos fertilizantes (ANGHINONI et al., 2013; ANGHINONI et al., 2011; ASSMANN et al., 2008; CARVALHO et al., 2018; LEMAIRE et al., 2014; MACCARI, 2016), além de promover a redução das perdas de N por lixiviação do nitrato (LEVINSKI-HUF, 2018) e por volatilização da amônia (LIMA, 2018), o que torna o sistema de ILP sustentável (FAO, 2018).

## 2.5 DILUIÇÃO DE NUTRIENTES EM PLANTAS E ÍNDICES NUTRICIONAIS

O N é considerado um dos mais importantes fatores limitantes à produção das culturas, juntamente com a água e o fósforo (LEMAIRE; JEUFFROY; GASTAL, 2008). Devido a demanda em N pelas plantas e sua complexa dinâmica no ambiente, compreender os processos que governam os fluxos, principalmente a absorção e distribuição é fundamental para minimizar impactos ambientais e produzir alimentos mais saudáveis (GASTAL; LEMAIRE, 2001).

Lemaire e Gastal (2018) destacam que o conhecimento do teor de N nas plantas e a sua partição é fundamental para avaliar a resposta à adubação nitrogenada, buscando entender sobre a absorção, tecidos em que é alocado e qual a função fisiológica. Afirmam, também, que é relevante conhecer a concentração

mínima de N na planta que permita a máxima taxa de crescimento, e que isso é possível a partir da avaliação do estado nutricional nitrogenado das plantas.

Nos últimos anos evidenciam-se aumentos nas doses de N aplicado às culturas, todavia, muitos produtores acabam aplicando doses exageradas em relação a capacidade de absorção pelas plantas, o que resulta em maior custo de produção e impactos ambientais (LEMAIRE; JEUFFROY; GASTAL, 2008). Segundo os autores, essas maiores doses estão atreladas ao tipo e manejo do solo, cultura anterior, produção de palhada e questões climáticas, o que gera incertezas com relação a resposta das plantas à adubação nitrogenada.

Diversos métodos e parâmetros para estimar a adubação nitrogenada de culturas vem sendo estudados, com destaque para os que estimam a dose de N em função do teor de matéria orgânica do solo (CQFS, 2016), teor de clorofila nas folhas das plantas (ARGENTA et al., 2002) e teor de nitrato no suco celular (SCHRÖDER et al., 2000), porém são métodos que apresentam muitas incertezas (RAMBO et al., 2004; RAMBO et al., 2011). Rambo et al. (2004) destacam que métodos para diagnóstico do teor de N na planta associado a dose de adubação nitrogenada devem ser avaliados visando melhor prever o estado nutricional da planta e com isso indicar a necessidade e dose de N a ser aplicado.

A recomendação de adubação nitrogenada, segundo a CQFS (2016), de maneira geral ocorre em função do teor de matéria orgânica do solo, da cultura anterior ao cultivo e da quantidade de resíduos sobre o solo, além da expectativa de rendimento, havendo também a necessidade de ajustes para cada cultura, todavia, a mineralização do N a partir da decomposição da matéria orgânica e dos resíduos vegetais da cultura anterior são afetados por diversos aspectos, tais como o clima (temperatura e umidade), relação C/N do resíduo e da matéria orgânica, tipo de solo e atividade microbiana, o que é um entrave a adequada predição do N potencialmente mineralizável e disponível à cultura (RHODEN, 2005).

Em função disso, Rambo et al. (2004) e Lustosa et al. (2011) destacam que o desenvolvimento de técnicas que auxiliem o produtor no uso eficiente de fertilizantes nitrogenados pode resultar em incremento de produção e redução de riscos ao ambiente. Com o mesmo intuito, Alves et al. (2015) sugerem que para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes e reduzir os impactos ambientais, é fundamental realizar o diagnóstico das deficiências nutricionais das plantas para uma

rápida tomada de decisão quanto ao momento de adubação e a dose recomendada.

Um parâmetro que vem ganhando espaço entre os pesquisadores é o que sugere o índice nutricional nitrogenado (INN) das culturas por meio de uma abordagem dinâmica, em que avalia o estado nutricional nitrogenado ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, adotando-se para isso uma concentração crítica de N no tecido vegetal para obter elevada produção de MS e produtividade da cultura (BERNARDON, 2016; GASTAL; LEMAIRE, 2002; LEMAIRE; JEUFFROY; GASTAL, 2008; LEVINSKI-HUF, 2018; SARTOR, 2014).

O INN e a curva de diluição do N, segundo Lemaire (1997), são estratégias para ajustar a recomendação de adubação nitrogenada das culturas, o que se deve ao fato que esta técnica permite identificar a concentração mínima de N para o máximo crescimento da planta, indicando o real estado nutricional da cultura naquele momento, corroborando para melhor ajuste enquanto momento e dose de adubação nitrogenada ao longo do ciclo da cultura.

Lemaire e Salette (1984) desenvolveram uma curva crítica de diluição do N a partir da avaliação do estado nutricional nitrogenado de plantas, a qual pode ser utilizada durante todo o ciclo da cultura e que permite detectar a concentração mínima de N para se obter máxima produção de MS das plantas. A partir deste preceito é possível inferir três situações nutricionais, se a absorção de N estiver abaixo do teor crítico da cultura, haverá deficiência de N, se a absorção de N estiver acima do teor crítico da cultura, haverá excesso de N, o que equivale ao consumo de luxo, e, se a absorção de N estiver próximo ao teor crítico para a cultura, evidencia-se que a adubação nitrogenada foi adequada (GASTAL et al., 2015).

A diluição da concentração de N em plantas é decorrente de alguns fatores, sendo um o acúmulo de biomassa vegetal e o outro a alocação de N em tecidos estruturantes, como o colmo. Se a disponibilidade de N no solo for baixa, o efeito de diluição será maior, pois a planta não terá sua demanda em N suprida, também, se houver competição entre as plantas em situação de campo, estas, para interceptarem a radiação solar, promoverão aumento da estatura pelo crescimento do colmo, que é uma estrutura não fotossintetizante e que apresenta baixa concentração de N, resultando no efeito de diluição (GASTAL; LEMAIRE, 2002; LEMAIRE et al., 2008).

Quando as condições de clima e de solo estiveram adequadas ao cultivo,

o diagnóstico nutricional nitrogenado pode ser feito através do modelo e com isso verificado se o teor de N na planta é restritivo ou não à produção da cultura (SARTOR et al., 2014). A concentração de N na parte aérea das plantas, segundo Lemaire e Gastal (1997), diminui à medida em que acumula biomassa, e a partir desse preceito, Gastal et al. (2015) determinaram que a concentração de N nas plantas diminui mesmo sob o fornecimento satisfatório de N à medida em que a MS da cultura aumenta, o que, segundo Lemaire e Salette (1984), poderia ser descrito empiricamente por uma função de potência negativa relacionando a concentração de N na planta e a produção de MS durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

De acordo com Lemaire e Gastal (1997), Li et al. (2012) e Gastal et al. (2015), a planta é o melhor indicador do fornecimento de N a partir da taxa de acúmulo de MS, e segundo Sartor (2009), Sartor et al. (2014) e Maccari (2016), é uma das poucas metodologias disponíveis para um diagnóstico precoce da condição de nutrição nitrogenada da cultura.

Lang (2004) destaca que a cada ciclo de brotação de uma pastagem, e Lang et al. (2011) afirmam que na cultura do milho, o teor de N da parte aérea diminui à medida que aumenta a quantidade de biomassa produzida, e que o efeito é variável em relação ao valor máximo atingido, a dinâmica de fornecimento de N e a velocidade de crescimento das plantas e, mesmo havendo amplo fornecimento de N às plantas, a concentração diminui com o crescimento da cultura, corroborando as afirmações de Lemaire e Salette (1984) e Lemaire (2008). Lemaire e Gastal (2018) afirmam que há uma concentração crítica de N, ou seja, uma concentração mínima de N para a planta atingir a máxima produção de MS, e que o teor de N no tecido diminui à medida em que há acúmulo de biomassa, fenômeno que ocorre nas plantas cultivadas.

Ao avaliar a mistura forrageira de aveia mais azevém em sistema de ILP, Bernardon (2016) verificou que o acúmulo de biomassa ao longo do ciclo de cultivo promoveu diluição no teor de N da mistura forrageira, o que pode estar atrelado a presença de materiais estruturantes e diminuição da relação folha/colmo. A mesma autora verificou que o teor de N acumulado na pastagem aumentou significativamente com a adubação nitrogenada da pastagem, sendo 28,6% superior em relação ao tratamento em que a cultura de grãos anterior a passagem foi adubada, o que permitiu a autora afirmar que a adubação da cultura de grãos não foi eficiente em nutrir a pastagem.

No início do desenvolvimento da cultura do milho, Lang (2004) evidenciou que havia um teor de N abaixo do crítico e atribuiu a essa condição uma possível imobilização do N nos dias seguintes à dessecação da pastagem de inverno. Verificou também que a aplicação do N na cultura do milho elevou os teores para valores considerados adequados pelo modelo. Lang et al. (2011) destacam que passada a fase inicial da cultura do milho, em exceção aos tratamentos sem aplicação de N, todos os demais que receberam N, seja na pastagem de inverno como na cultura do milho, permitiram às plantas manter um teor de N acima do nível crítico.

Ao avaliar o manejo da altura do pasto e da adubação nitrogenada em sistema de ILP, Levinski-Huf (2018) evidenciou que o milho para silagem e o feijão das secas, conduzidos na sequência após a pastagem de azevém, apresentaram redução no teor de N na parte aérea, com consequente efeito de diluição à medida em que as plantas apresentaram aumento no teor de MS. Com o objetivo de avaliar a diluição do N, a curva crítica de N e estimar o índice nutricional nitrogenado na cultura do milho sob diferentes doses de N e conduzido por vários anos no Canadá, Ziadi et al. (2008) evidenciaram que a concentração de N na biomassa do milho diminuiu com o crescimento da planta, resultando no efeito de diluição do N, assim como evidenciado por Levinski-Huf (2018) em milho silagem e feijão das secas, Bernardon (2016) em azevém e Maccari (2016) em milho.

Yue et al. (2014) ao avaliar o efeito da diluição do N e a curva crítica de N proposta por Plénet e Lemaire (2000), verificaram que a curva proposta pelos autores não era adequada à determinação do estado nutricional nitrogenado do milho cultivado nas planícies do Norte da China. A partir disso, Yue et al. (2017) afirmam que é fundamental que se façam avaliações da diluição e da curva crítica de N para as culturas em diferentes países visando verificar a possibilidade de influência das condições locais, climáticas e das cultivares sobre estes parâmetros.

Lemaire e Salette (1984) propuseram modelos matemáticos que correlacionam a produção de MS ao teor de N na planta de acordo com a espécie vegetal, e segundo Maccari (2016), os teores de N da planta devem ser contrastados com a curva de diluição proposta por Lemaire (1997). Como as plantas possuem diferentes mecanismos de assimilação de gás carbônico, foram propostos dois modelos que refletem esta característica e que estão associados às diferenças anatômicas das folhas das espécies vegetais (GASTAL et al., 2015), conforme as

equações para plantas C3:  $N\% = 4,8 (MS)^{-0,32}$  e C4:  $N\% = 3,4 (MS)^{-0,37}$ . O parâmetro N% é a porcentagem de N calculado de acordo com a biomassa produzida; os coeficientes 4,8 e 3,4 representam a porcentagem de N contido na parte aérea das plantas em uma massa conhecida; MS é a quantidade total de biomassa produzida em  $t\ ha^{-1}$ ; os coeficientes -0,32 e -0,37 caracterizam o comportamento exponencial negativo da diluição do N durante o crescimento da cultura, para plantas C3 e C4, respectivamente. Os valores dos coeficientes das equações, segundo Lemaire e Salette (1984) e Gastal et al. (2015), são constantes quando as plantas forem submetidas a condições adequadas de disponibilidade de N e de desenvolvimento.

Essas equações podem ser empregadas para estimar a quantidade de N extraído pela cultura quando a MS da parte aérea acumulada for superior a  $1\ t\ ha^{-1}$  (SKONIESKI, 2009; GASTAL et al., 2015), e este fato se deve a verificação de Lemaire et al. (1997) em que o N crítico da planta permanece constante nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura. Desta forma, o diagnóstico do estado nutricional nitrogenado das plantas pode ser abordado de uma forma mais dinâmica em função da disponibilidade de N no solo, sua absorção e alocação interna na planta (GASTAL; LEMAIRE, 2002).

Gastal et al. (2015) ao apresentar uma ampla discussão sobre as respostas das culturas ao N e as vias para melhorar a eficiência de uso do N pelas plantas, concluem que a dinâmica de acumulação de MS da cultura determina a porcentagem crítica de N e a absorção crítica; que a relação entre a absorção crítica de N e a taxa de crescimento é dependente de variáveis externas, tais como solo e clima, além da disponibilidade de N; e que esta relação é variável entre as espécies e reflete as diferenças metabólicas entre plantas de mecanismo C3 e C4.

Ao cultivar feijão das secas após milho silagem em um sistema de ILP, Levinski-Huf (2018) evidenciou que a curva de diluição de N no feijão das secas apresentou parâmetros inferiores aos verificados por Lemaire e Salette (1984) e por Greenwood et al. (1990) para plantas C3, indicando que a curva característica e o padrão de diluição para plantas C3 não pode ser generalizado. A autora destaca que espécies C3 de leguminosas tendem a apresentar comportamento distinto ao de espécies não leguminosas com relação a curva crítica de N.

Bernardon (2016) destaca que o teor de N na MS do consórcio aveia e azevém em um sistema de ILP foi de 4,6% e 4,4% aos 46 dias após a semeadura e

de 2,0% e 2,1% aos 214 dias para os tratamentos alta (25 cm) e baixa (10 cm) de altura de pasto, respectivamente, havendo efeito de diluição do N em função do acúmulo de MS pelas plantas. Esses resultados corroboram às afirmações de Lemaire (1997) sobre a diluição de N em plantas, o que se deve a maior proporção de colmos em relação a folhas e a translocação interna de N para a produção de biomassa.

Ao avaliar o INN em pastagem de *Urochloa plantaginea* (papuã), Sartor et al. (2014) evidenciaram que a aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N resultou na produção de 6.175 kg ha<sup>-1</sup> de MS, já a aplicação de 400 kg ha<sup>-1</sup> de N resultou na produção de 4.161 kg ha<sup>-1</sup> de MS, sendo estas produções 31% e 23%, respectivamente, superiores aos tratamentos sem N. Em relação ao INN, as parcelas que não receberam adubação nitrogenada apresentaram índices inferiores as parcelas adubadas. Sartor (2009) destaca que a presença dos animais é importante para promover a ciclagem do N no sistema, pois o N advindo das fezes e urina é rapidamente disponibilizado as plantas, corroborando a nutrição nitrogenada da cultura.

Levinski-Huf (2018) conclui em seu trabalho que a curva de diluição de N proposta por Lemaire e Salette (1984) para espécies de plantas C3 não é adequada à diagnose do estado nutricional nitrogenado da cultura do feijoeiro, sugerindo que uma nova curva específica para a cultura deve ser proposta. Ao avaliar a diluição do N e a curva crítica de N para o arroz cultivado no China, Yue et al. (2017) destacam que as curvas críticas já sugeridas por outros autores não foram eficientes, propondo uma nova curva crítica de N,  $N_{crit} = 2,77 (MS)^{-0,34}$ . Os autores destacam que mais estudos são necessários para avaliar a nova curva de diluição de N visando diagnosticar o estado nutricional nitrogenado de cultivares de arroz na China, enfatizando a necessidade de desenvolver métodos não-destrutivos eficientes para estimar o INN para aplicações práticas.

Segundo Lemaire et al. (1997), os excessos ou deficiências na adubação nitrogenada podem ser expressos por valores de índice nutricional nitrogenado (INN) acima ou abaixo da unidade, e indicam a necessidade de adubação ou não da cultura. A equação para determinação do INN foi proposta por Lemaire (1997) para plantas C3 e C4, respectivamente. Posteriormente, Duru e Théliier-Huché (1997) propuseram equações para verificação do índice nutricional de fósforo (iP) e índice nutricional de potássio (iK), ambos relacionados ao INN, apresentados a seguir.



$$C3: \text{INN} = (100 \cdot N\%) / (4,8 \cdot \text{MS}^{-0,32})$$

$$C4: \text{INN} = (100 \cdot N\%) / (3,4 \cdot \text{MS}^{-0,37})$$

$$iP = 100 P\% / (0,15 + 0,065 N\%)$$

$$iK = 100 K\% / (1,6 + 0,525 N\%)$$

Segundo Duru e Théliier-Huché (1997), o parâmetro P% é a porcentagem de P na biomassa produzida; os valores 0,15 e 0,065 estão atrelados a relação do P ao N na planta, já o parâmetro K% é a porcentagem de K na biomassa produzida; os valores 1,6 e 0,525 estão atrelados a relação do K ao N na planta.

As equações permitem calcular o INN, o iP e o iK em função da concentração de N, P e K na biomassa da parte aérea das plantas, sendo interpretados conforme Lemaire (1997) e Duru e Théliier-Huché (1997). Para o INN, define-se que valores acima de 100 são considerados como excesso de N absorvido pelas plantas, ou seja, consumo de luxo, valores entre 80 e 100 são considerados satisfatórios, valores entre 60 e 80 são inadequados, e valores abaixo de 60 são considerados como deficiente em N. Já para a interpretação dos iP e iK os valores são um pouco diferentes, com a criação da classe de interpretação muito satisfatório.

Béllanger et al. (2015) destacam que há uma forte correlação entre as concentrações de N e P na biomassa da parte aérea das plantas, e que a concentração crítica de P pode ser estimada a partir da concentração de N. Para tal, sugerem uma equação alternativa a de Duru e Théliier-Huché (1997) e que foi desenvolvida por Ziadi et al. (2008) para o trigo cultivado no Canadá,  $P_c = 0,94 + 0,107N\%$ , sendo  $P_c$  o teor crítico de P e  $N\%$  o teor de N na biomassa vegetal.

Maccari (2016) relata que o INN do milho cultivado no verão sob a parcela que recebeu adubação nitrogenada durante a pastagem no inverno foi de 85%, enquanto a que recebeu N somente na cobertura do milho foi de 65%. Esses resultados evidenciam que é possível aprimorar o aproveitamento dos nutrientes em virtude de um sistema de produção dentro dos princípios da sustentabilidade. Analisando o INN supracitado, a autora evidenciou que a ciclagem do N da pastagem para o milho ocorreu, permitindo que o milho atingisse um INN considerado satisfatório, ao passo que quando a adubação nitrogenada ocorreu somente na cultura do milho, esta apresentou um INN considerado inadequado. Esse resultado indica que o N aplicado somente na cultura de grãos não é suficiente para atender a demanda da

planta, devendo-se realizar a adubação nitrogenada da pastagem visando a produção de pasto e animal, favorecendo com isso a ciclagem de nutrientes através das fezes e urina dos animais e dos resíduos vegetais remanescentes.

Ao avaliar doses de N no milho, Ziadi et al. (2008) evidenciaram que aplicações de 20; 50 e 100 kg de N ha<sup>-1</sup> resultaram em estado nutricional nitrogenado aquém do desejado, com deficiência de N e INN inferior a 100, nas doses 150 e 200 kg de N ha<sup>-1</sup> o INN foi próximo a 100, indicando adequada nutrição nitrogenada das plantas, e quando se aplicou 250 kg de N ha<sup>-1</sup> o INN foi bem superior 100, indicando ótimo estado nutricional nitrogenado do milho, havendo consumo de luxo.

Visando avaliar os efeitos de doses de N (0; 40; 80; 120; 160 e 200 kg ha<sup>-1</sup>), sendo a aplicação parcelada em duas vezes, sobre a produção de forragem e sua relação com o INN de uma pastagem nativa de Roraima, *Trachypogon plumosus*, Costa et al. (2017) evidenciaram que a adubação nitrogenada afetou positivamente o rendimento da forrageira e os teores de N, que a eficiência de utilização e a recuperação aparente de N são inversamente proporcionais às doses de N, além de que, o nível crítico de N é reduzido com o aumento da produtividade da forrageira, concluindo que as doses de N utilizadas foram insuficientes para atingir o nível crítico de N da forrageira e elevados INN. Os mesmos autores observaram maior rendimento de MS de forragem (3.579 kg ha<sup>-1</sup>), teor de N na planta (20,89 g kg<sup>-1</sup>) e INN (90) com a aplicação de 160 kg de N ha<sup>-1</sup>, o que permitiu afirmar que a metodologia de avaliação do INN em plantas é uma boa estratégia para ajustes no manejo da adubação nitrogenada.

Avaliando o INN em experimento de ILP com aplicação de doses de N na cultura do milho, Maccari (2016) evidenciou que o milho atingiu nível de suficiência em N com a aplicação de 200 e 300 kg de N ha<sup>-1</sup>, já nas doses de 0 e 100 kg de N ha<sup>-1</sup> o N crítico da cultura permaneceu sempre abaixo da suficiência durante todo o ciclo. Quando foi aplicado N na pastagem cultivada anteriormente ao milho e mais 100 kg de N ha<sup>-1</sup> no milho, observou que a planta manteve níveis adequados de N em todo o ciclo da cultura. Ao avaliar o INN, concluiu que as informações deste parâmetro confirmam que a antecipação da adubação nitrogenada na pastagem proporciona níveis adequados de N, mesmo sem a adubação do milho.

Wenjuan, Ping e Jiyun (2012) ao avaliar a curva crítica de N e o INN para o milho cultivado no nordeste da China em diferentes anos e locais, evidenciaram que

a aplicação de 0 e 70 kg de N ha<sup>-1</sup> resultou em baixo INN durante todo o ciclo da cultura, indicando que o teor de N limitou a máxima produção de MS. Com a aplicação de 210 a 280 kg N ha<sup>-1</sup> o INN esteve acima da curva crítica, indicando nutrição excessiva ou consumo de luxo pela cultura. Para tal, propuseram uma equação para estimar o teor de N crítico para a cultura milho,  $N_c = 36,5 (MS)^{-0,48}$ , todavia, diferente das equações propostas por outros autores. Afirmam ainda que a diluição do N foi altamente correlacionada ao rendimento relativo de grãos, concluindo que a curva crítica de N pode ser utilizada como ferramenta para diagnosticar o estado nutricional nitrogenado do milho.

Skonieski (2009) afirma que a determinação do valor do INN em função dos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura permite uma tomada de decisão mais segura quanto ao fato de se efetuar ou não a aplicação de dose extra de N, permitindo benefícios econômicos e ambientais. Ziadi et al. (2008) em seu trabalho concluíram que a curva crítica de N proposta por Plénet e Lemaire (2000) pode ser aplicada à cultura do milho e que o INN é um parâmetro confiável para estimar o estado nutricional nitrogenado para a tomada de decisão com relação a adubação nitrogenada.

Levinski-Huf (2018) em experimento de ILP avaliando a altura de pastejo, adubação nitrogenada e doses de N na cultura de grãos, observou redução na concentração de N em plantas de feijão das secas com o incremento da MS ao longo do ciclo de cultivo. Também, evidenciou que as plantas de feijão das secas, mesmo recebendo doses de N em cobertura, apresentaram curvas de diluição abaixo da crítica para plantas C3, todavia, a produtividade na máxima eficiência técnica foi obtida com a dose de 100 kg de N ha<sup>-1</sup>, indicando que mesmo abaixo do teor crítico de N na planta, esta apresentou elevada produtividade. Verificou também que nas parcelas em que o feijão das secas não recebeu adubação nitrogenada, a concentração de N em função da MS foi inferior, o que resultou em menor produtividade da cultura.

Em contrapartida ao evidenciado por Levinski-Huf (2018), Assmann et al. (2003), Balbinot Júnior et al. (2010), Lang et al. (2011), Sandini et al. (2011) Bortolli (2016) em experimentos de ILP não verificaram resposta em termos de produtividade de milho quando o N foi aplicado em cobertura, o que indica que a cultura havia atingido nível de suficiência em N e que sua aplicação poderia resultar em danos ambientais e custos desnecessários.

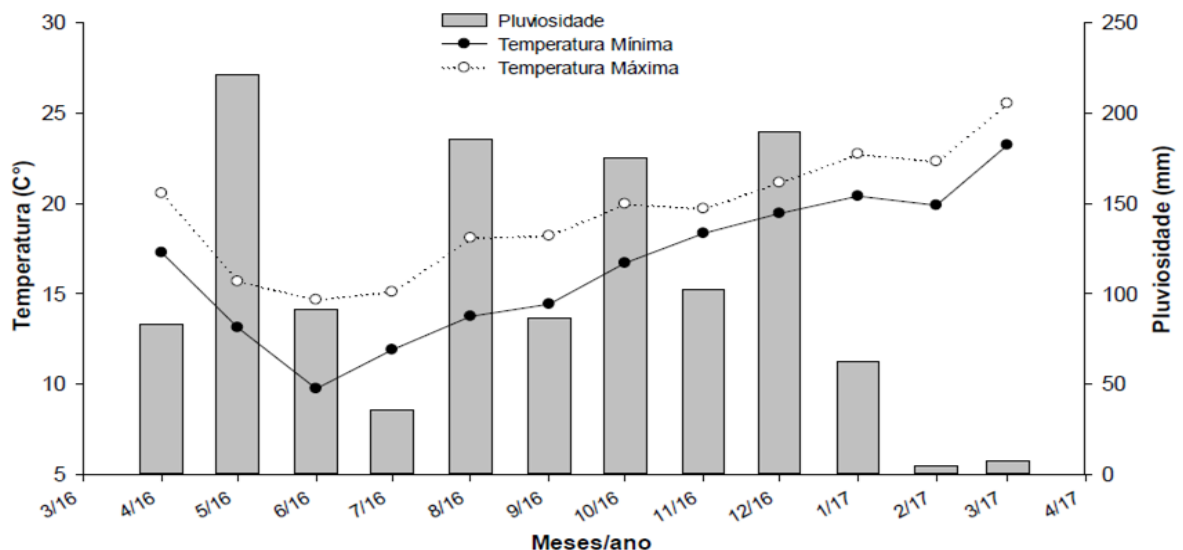
Desta forma, evidencia-se que o teor crítico de N e o INN são parâmetros relevantes na avaliação do estado nutricional das plantas, e a partir disso, tomar a melhor decisão quanto ao momento e a dose de adubação nitrogenada visando adequado estado nutricional de plantas e a busca por elevadas produtividades.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido no período de abril de 2016 a março de 2017 na Agropecuária C.M. Pacheco, localizada no município de Abelardo Luz, Estado de Santa Catarina (SC). A região compreende a área do planalto catarinense, na bacia hidrográfica do meio oeste catarinense, com altitude de 850 m, latitude de 26°31' Sul e longitude de 51°35' Oeste.

O clima predominante na região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfb), segundo a classificação de Köppen. Os dados meteorológicos da região durante o período experimental foram obtidos na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Clevelândia, PR, localizada a 30 km da área experimental. Os dados meteorológicos do período experimental de abril de 2016 a março de 2017 estão apresentados na Figura 1.



**Figura 1** - Parâmetros meteorológicos observados durante o período experimental de maio de 2016 a março de 2017. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019. Fonte: INMET, Clevelândia-PR (2017).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Bruno Distrófico típico, textura muito argilosa, horizonte A proeminente e horizonte B latossólico, relevo suave ondulado, com aproximadamente 7% de declividade

(EMBRAPA, 2013). A análise granulométrica do perfil de solo indica teores de argila de 690 g kg<sup>-1</sup> até 40 cm de profundidade, caracterizando a textura como muito argilosa.

Em toda a área experimental foi efetuada amostragem de solo de 0 a 20 cm de profundidade em 05 de abril de 2016 para avaliação dos parâmetros químicos e recomendação de calagem e adubação, conforme a Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2016). Os resultados da análise de solo estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 1** - Parâmetros químicos do solo na profundidade de 0 a 20 cm antes da semeadura do azevém cv. Winter Star. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

pH	M.O.	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	CTC <sub>pH7,0</sub>	V
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							%
4,7	51,71	14,37	0,44	4,36	2,24	0,13	7,19	7,04	14,23	49,5

Laboratório de Análise de Solos UTFPR-Pato Branco/IAPAR.

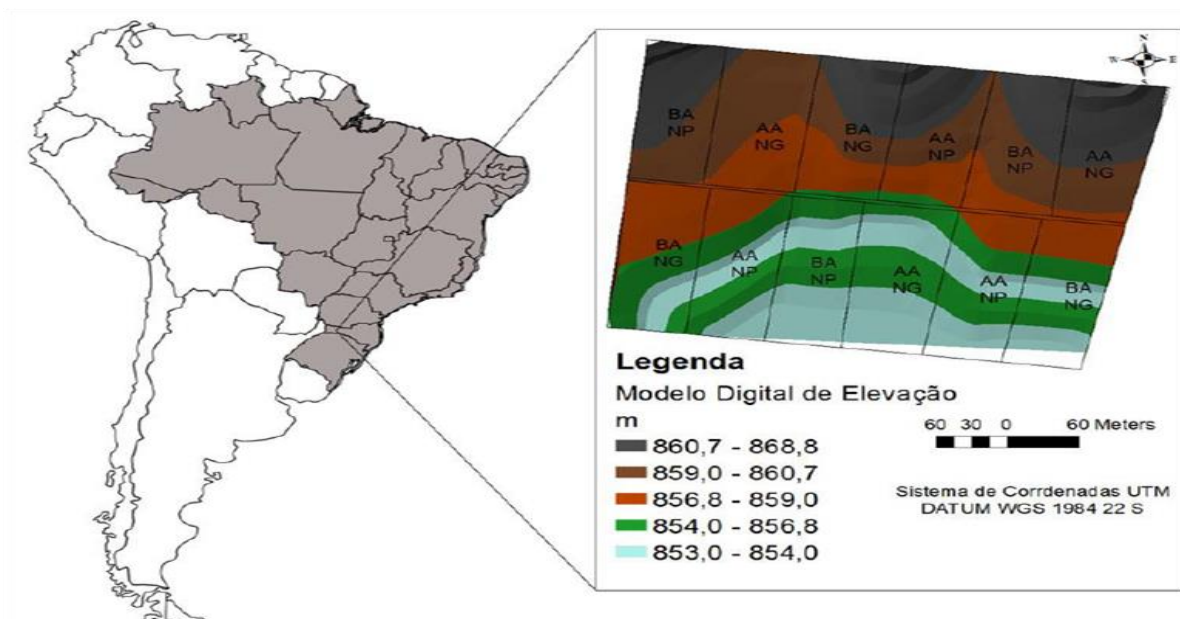
A partir da interpretação do laudo de análise de solo evidenciou-se baixo pH e saturação por bases na camada de 0 a 20 cm de profundidade, resultando na necessidade de aplicação de calcário. Recomendou-se a aplicação superficial de calcário dolomítico (PRNT 75%) na dose de 3.000 kg ha<sup>-1</sup>. Devido as condições climáticas e disponibilidade de equipamento da fazenda, a aplicação ocorreu no dia 01 de junho de 2016, logo após a semeadura da cultura de azevém, no período entre germinação e emergência da cultura.

Até meados do ano de 2012, antes da instalação dos experimentos a área era manejada no sistema de cultivo mínimo, com gradagem para plantio de cereais no inverno e cultura de grãos no verão, principalmente soja. A partir de meados de 2012 a área passou a ser utilizada para fins de experimentação em sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) sob plantio direto.

Para melhor caracterização e localização da área experimental, é apresentado na Figura 2 o levantamento planialtimétrico com detalhes do modelo digital de elevação e das altitudes da área experimental. A sequência de cultivos de plantas no inverno e verão durante os anos de realização dos experimentos estão apresentados na Tabela 3.

As unidades experimentais constam de doze parcelas já alocadas desde o início do experimento com ILP em 2012 (Figura 2), sendo a área total do experimento de aproximadamente 14 ha divididos em 12 parcelas de área semelhante, com área adjacente de 10 ha para manutenção dos animais reguladores da altura da pastagem

utilizados na fase pastagem do experimento.



**Figura 2** - Localização e levantamento planialtimétrico da experimental sob integração lavoura-pecuária. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Fonte: Tatto (2018).

AA: pasto manejado em alta altura; BA: pasto manejado em baixa altura; NG: adubação nitrogenada na cultura de grãos; NP: adubação nitrogenada na pastagem.

O dimensionamento do tamanho das parcelas foi realizado de modo a permitir a manutenção de pelo menos três animais testers, os quais estiveram sob avaliação juntamente com a pastagem.

**Tabela 2** - Sequência de cultivos adotado desde a implantação do experimento em sistema de integração lavoura-pecuária. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Período	Culturas
Verão 2012/2013	Sorgo Forrageiro ( <i>Sorghum bicolor</i> )
Inverno 2013	Aveia preta comum ( <i>Avena strigosa</i> )
Verão 2013/2014	Milho grãos ( <i>Zea mays</i> )
Inverno 2014	Aveia preta ( <i>Avena strigosa</i> ) + azevém ( <i>Lolium multiflorum</i> L.)
Verão 2014/2015	Soja ( <i>Glycine max</i> )
Inverno 2015	Azevém ( <i>Lolium multiflorum</i> L.)
Verão 2015/2016	Milho para silagem ( <i>Zea mays</i> L.)
Verão 2016	Feijão das secas ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )
Inverno 2016	Azevém cv. Winter Star ( <i>Lolium multiflorum</i> L.)
Verão 2016/2017	Feijão cv. IPR Tuiuiú ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )

O delineamento experimental adotado foi fatorial em blocos completos ao acaso com três repetições. Os tratamentos aplicados ao experimento foram: Fator

A: tempo de adubação de nitrogênio (N), sendo os tratamentos: N-Fert. Grãos com a adubação nitrogenada realizada somente na cultura de grãos; N-Fert. Pastagem com a adubação nitrogenada realizada somente na pastagem. Fator B: altura do pasto, sendo alta altura com a pastagem manejada a 25 cm (AA); baixa altura com a pastagem manejada a 10 cm (BA), conforme apresentado na Figura 3. Cabe salientar que os tratamentos aplicados ao experimento foram iniciados no ano de 2012, desde o primeiro experimento realizado sob integração lavoura-pecuária e mantidos até o presente trabalho.

Para manutenção da altura da pastagem conforme os tratamentos de altura de pasto, utilizou-se bovinos de corte mestiços das raças Charolês e Nelore sob pastejo contínuo durante a fase pastagem, conduzida de maio a novembro de 2016, mantendo-se pelo menos 3 animais testers em cada parcela (sob avaliação) e animais reguladores da altura do pasto. Os animais reguladores ficavam em área adjacente ao experimento, e, havendo pastejo excessivo, resultando em pastagem com altura abaixo da pretendida, animais eram retirados da parcela para que a pastagem voltasse a crescer e atingir a altura desejada, já quando a pastagem apresentava crescimento além do pretendido para o tratamento, animais eram conduzidos da área adjacente à parcela para pastejo e com isso promover o rebaixamento da pastagem visando atingir a altura desejada.

Considerando o período em que a pastagem de azevém esteve a campo, de maior a novembro de 2016, foram registrados aproximadamente 850 mm de precipitação pluvial com temperaturas médias entre 10 e 20°C (Figura 2). As condições climáticas foram satisfatórias para atender as exigências da espécie. Todavia, logo após a semeadura as condições climáticas de elevada pluviosidade e baixas temperaturas resultaram em reduzido crescimento inicial do azevém, havendo longo período entre a semeadura e o início do pastejo, em torno de 67 dias. Já no período em que o feijoeiro esteve a campo, de dezembro de 2016 a março de 2017, foram registrados aproximadamente 260 mm de precipitação e a temperatura média esteve entre 20 e 25°C (Figura 2). As temperaturas estiveram dentro da faixa ideal para a cultura, todavia, a precipitação ficou abaixo do mínimo necessário, principalmente entre meados de janeiro e março de 2017, o que pode ter corroborado a redução do potencial produtivo do feijoeiro.



## 3.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

### 3.2.1 Pastagem de azevém

O experimento foi iniciado com o cultivo da pastagem de azevém (*Lolium multiflorum* L.) tetraploide, cultivar Winter Star, no período de maio a novembro de 2016, em delineamento experimental blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 2, com três repetições.

Em 12 de maio de 2016 realizou-se a semeadura do azevém utilizando-se uma semeadora-adubadora com espaçamento entre linhas de 17 cm e densidade de semeadura de 25 kg ha<sup>-1</sup>. Por ocasião da semeadura procedeu-se a adubação de base com a aplicação de 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-20-20 (NPK), totalizando 32 kg ha<sup>-1</sup> de N, 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. A emergência das plântulas ocorreu 9 dias após a semeadura, em 21 de maio.

A adubação nitrogenada em cobertura do azevém ocorreu quando as plantas atingiram o estágio de perfilhamento, 39 dias após a semeadura, nas parcelas N-Fert. Pastagem, na dose de 200 kg de N ha<sup>-1</sup>, utilizando como fonte o fertilizante ureia (46% de N), em única aplicação, utilizando-se o equipamento distribuidor Lancer, previamente calibrado.

A partir da adubação nitrogenada da pastagem iniciou-se a cronologia e os tratamentos do presente experimento, alocando-se o tratamento tempo de adubação de N com a aplicação de 200 kg de N ha<sup>-1</sup> apenas nas parcelas denominadas N-Fert. Pastagem, já as parcelas N-Fert. Grãos não receberam adubação nitrogenada. Neste momento também se iniciou o tratamento altura de pasto, sendo mantido em alta (25 cm) e baixa (10 cm) altura através do pastejo contínuo por bovinos de corte (Figura 3).

As alturas do pasto eram avaliadas pela medição com régua graduada em 40 pontos aleatórios dentro de cada parcela, realizado uma vez por semana. Quando a altura da pastagem não estava de acordo ao preconizado, procedia-se ajustes semanais no número de animais em cada parcela, ou seja, caso houvesse a necessidade de fazer modificações os animais reguladores eram retirados ou adicionados às parcelas visando manter a altura de pasto pretendido. Ao longo do experimento as médias das alturas reais da pastagem foram de 28,2 e 12,2 cm, para

alta e baixa altura do pasto, respectivamente. Cabe salientar que os animais tiveram livre acesso à água e ao sal mineral em cada parcela.

As alturas do pasto foram mantidas por meio de pastejo contínuo com taxa de lotação variável seguindo as recomendações de Moot e Lucas (1952). A entrada dos animais na pastagem ocorreu no dia 18 de julho de 2016, 67 dias após a semeadura, quando o azevém apresentava altura média de 13,1 cm em todos os tratamentos. Os animais permaneceram nas parcelas pastejando o azevém durante todo o período experimental, saindo somente para a pesagem e vacinação. Os animais foram mantidos em pastejo até o dia 21 de novembro de 2016, totalizando 126 dias de pastejo.



**Figura 3** - Croqui experimental com a disposição dos tratamentos de tempo de adubação de N e altura de pasto na pastagem de azevém. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Fonte: Levinski-Huf (2018).

AA: pasto manejado em alta altura; BA: pasto manejado em baixa altura; NG: adubação nitrogenada na cultura de grãos; NP: adubação nitrogenada na pastagem.

Após a retirada dos animais da área experimental foi realizado a avaliação da quantidade de matéria seca residual da pastagem sobre o solo, obtendo-se nos tratamentos: N-Fert. Pastagem com o pasto manejado em alta altura MS residual de 3.239 kg ha<sup>-1</sup>; N-Fert. Grãos com o pasto manejado em alta altura MS residual de 3.251 kg ha<sup>-1</sup>; N-Fert. Pastagem com o pasto manejado em baixa altura MS residual de 1.391 kg ha<sup>-1</sup>; N-Fert. Grãos com o pasto manejado em baixa altura

MS residual de 1.284 kg ha<sup>-1</sup>.

No dia 24 de novembro de 2016 foi realizada a dessecação da pastagem com a aplicação de 1,5 kg ha<sup>-1</sup> de Roundup WG (Glifosato). Durante o período de pastejo realizaram-se avaliações da cultura do azevém e dos animais testers, cujos detalhes, procedimentos, manejos, protocolos e resultados encontram-se descritos em Aiolfi (2018), Barriga (2019) e Lima (2018).

### 3.2.2 Cultura de grãos feijoeiro

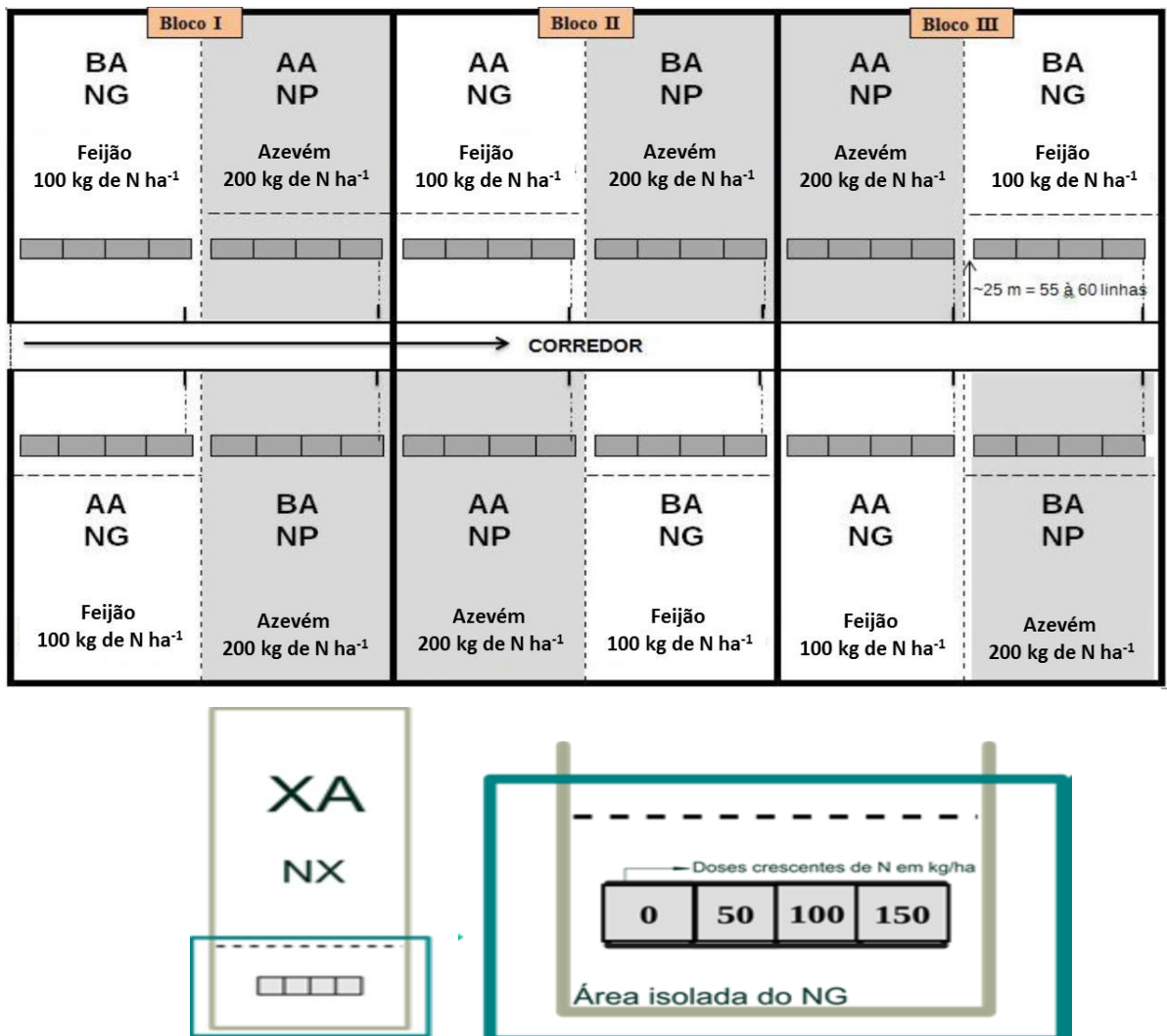
No dia primeiro de dezembro de 2016 foi iniciado a fase cultura de grãos com a semeadura do feijão preto (*Phaseolus vulgaris*), cultivar IPR Tuiuiu, em densidade de semeadura de 14 sementes m<sup>-1</sup> linear, espaçamento entre linhas de 45 cm e profundidade de semeadura de 4 a 5 cm. As sementes do feijão foram tratadas antes do plantio com 2 mL kg<sup>-1</sup> de Co-Mo, 3 mL kg<sup>-1</sup> de Cropstar (Imidacloprido + Tiodicarbe) e 2 mL kg<sup>-1</sup> de Protreat (Carbendazim + Tiram). A adubação de base do feijoeiro foi de 400 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante NPK de formulação 00-18-18, totalizando 0 kg ha<sup>-1</sup> de N, 72 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 72 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Para a semeadura do feijão utilizou-se semeadora-adubadora previamente calibrada.

Na cultura de grãos foi aplicado o tratamento tempo de adubação de N, sendo no tratamento N-Fert. Grãos aplicados 100 kg de N ha<sup>-1</sup> em cobertura, com o feijoeiro em estágio V3, em única aplicação, utilizando como fonte de N o fertilizante ureia (46% de N), procedimento realizado no dia 5 de janeiro de 2017, já no tratamento N-Fert. Pastagem não se procedeu a aplicação de N (Figura 4). O fator altura do pasto não foi aplicado nesta fase experimental, pois é atrelado a fase pastagem, todavia, manteve-se a avaliação de tal fator com o objetivo de verificar o efeito residual das diferentes alturas de pasto sobre o feijoeiro.

No período de condução da cultura do feijoeiro foi incluído aos tratamentos mais um fator, doses de N em todas as unidades experimentais, sem exceção, procedimento realizado no dia 05 de janeiro de 2017. Para que fosse possível trabalhar com as doses de N foram alocadas quatro subparcelas de 61,2 m<sup>2</sup> cada (17 linhas x 8,0 m de comprimento), em cada uma das parcelas com o objetivo de avaliar o efeito de doses de N sobre os tratamentos já consolidados. As doses de N adotadas foram 0; 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, utilizando o fertilizante ureia (46% de

N), constituindo um esquema fatorial do tipo 2 x 2 x 4, sendo os fatores tempo de adubação de N, altura de pasto e doses de N, respectivamente. Cabe salientar que as doses de N foram aplicadas nas subparcelas alocadas dentro de cada parcela, já no restante da área das parcelas denominadas N-Fert. Grãos foram aplicados 100 kg de N ha<sup>-1</sup>. Nesta fase as parcelas N-Fert. Pastagem não receberam N (Figura 5).

Os tratos culturais na cultura do feijoeiro (aplicação de herbicidas, fungicidas e inseticidas) foram realizados sempre que necessário, mas sempre iguais em todas parcelas. O manejo fitossanitário e de plantas daninhas seguindo as recomendações técnicas dos produtos, bem como as orientações agrônômicas.



**Figura 4** - Croqui experimental com a disposição dos tratamentos na fase pastagem e alocação das subparcelas na fase cultura de grãos no cultivo de feijoeiro IPR Tuiuiu. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

AA: pasto manejado em alta altura; BA: pasto manejado em baixa altura; NG: adubação nitrogenada na cultura de grãos; NP: adubação nitrogenada na pastagem.

Fonte: Levinski-Huf (2018).

No dia 20 de janeiro de 2017 foi efetuada a aplicação preventiva do fungicida Fox (Trifloxistrobina + Protiocanazole), visando manter a planta sadia, na dose de 400 mL ha<sup>-1</sup>, juntamente com os inseticidas Engeo Pleno (Lambda-cialotrina + Tiametoxan), na dose 250 mL ha<sup>-1</sup>, Certero (Triflumurom), visando o controle de lagartas, na dose de 80 mL ha<sup>-1</sup>, além do herbicida Select (Cletodim) visando o controle de plantas invasoras, principalmente a *Urochloa plantaginea* (papuã), na dose 500 mL ha<sup>-1</sup> e o óleo mineral Aureo (adjuvante), na dose de 200 mL ha<sup>-1</sup>. Procedeu-se a mistura em tanque dos produtos supracitados para única aplicação a partir das recomendações técnicas e ordem de mistura devidamente indicadas pelas empresas.

No dia 15 de fevereiro de 2017 procedeu-se a segunda aplicação de agroquímicos com vistas ao controle de pragas e de plantas invasoras, utilizando-se os seguintes produtos, herbicidas Basagran (Bentazona), na dose de 1 L ha<sup>-1</sup>, Flex (Fomesafem), na dose 400 mL ha<sup>-1</sup>, além do inseticida Curyon (Profenofós + Lufenuron), na dose de 400 mL ha<sup>-1</sup>, realizando-se mistura em tanque, procedendo-se conforme as recomendações técnicas e indicações dos fabricantes dos produtos.

Visando a uniformização de maturação do feijoeiro para colheita de toda a área experimental, no dia 15 de março de 2017 foi realizada a dessecação utilizando-se os herbicidas Reglone (Diquate), na dose de 2,5 L ha<sup>-1</sup> e Gramoxone (Paraquate), na dose de 1,5 L ha<sup>-1</sup>. No dia 23 de março de 2017 foi realizada a colheita total do experimento, sendo esta mecanizada, com uso de colhedora automotriz e os grãos destinados a propriedade rural. Antes da colheita mecanizada, no dia 13 de março, realizaram-se coletas de solo e plantas para avaliações finais do experimento.

Cabe salientar que as máquinas, equipamentos, fertilizantes e agroquímicos utilizados no experimento pertenciam aos proprietários da fazenda C.M. Pacheco, sendo as aplicações realizadas conforme as recomendações técnicas de manejo das culturas.

### 3.3 AVALIAÇÕES DO EXPERIMENTO

#### 3.3.1 Pastagem de Azevém

Na fase pastagem o delineamento experimental consistiu em blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 2, com três repetições. O primeiro fator foi tempo de

adubação de N com dois níveis: N aplicado somente na pastagem (N-Fert. Pastagem) e N aplicado somente na cultura de grãos (N-Fert. Grãos). Nesta fase as parcelas N-Fert. Pastagem receberam 200 kg de N ha<sup>-1</sup> em cobertura durante o perfilhamento do azevém e as parcelas N-Fert. Grãos não receberam adubação nitrogenada. O segundo fator foi altura de pasto, alta altura (AA) e baixa altura (BA), 25 e 10 cm, respectivamente.

Foi realizado coleta de solo para avaliação do teor de N na forma de amônio, nitrato e N mineral incluído um terceiro fator, profundidade de solo considerando cinco camadas: 0-5; 5-10; 10-20; 20-40; e 40-60 cm. As amostragens de solo para avaliação do comportamento dos nutrientes no perfil do solo ocorreram em duas datas distintas, dia 05 de maio de 2016, após o cultivo do feijão das secas e antes da semeadura do azevém, e dia 04 de julho de 2016, 15 dias após a adubação nitrogenada, em três repetições. O esquema fatorial para esta avaliação foi do tipo 2 x 2 x 5 (tempo de adubação de N, altura de pasto, profundidade de solo).

Após cada coleta de solo efetuou-se a secagem em estufa de circulação de ar forçado a 55°C por um período de 5 dias, sendo posteriormente moído em moinho específico para solo utilizando peneira com malha 2 mm. Após o solo foi acondicionado adequadamente para posterior avaliação dos nutrientes.

### 3.3.2 Cultura de grãos feijoeiro

Na fase cultura de grãos o delineamento experimental consistiu num esquema trifatorial, 2 x 2 x 4, sendo: Fator A: tempo de adubação de N, em dois níveis: N-Fert. Pastagem, com a adubação nitrogenada somente na pastagem de azevém, N-Fert. Grãos, com a adubação nitrogenada somente no feijoeiro. Fator B: altura de pasto, em dois níveis: pastagem manejada em alta altura, 25 cm (AA) e pastagem manejada em baixa altura, 10 cm (BA). Fator C: doses de N aplicadas em subparcelas alocadas em cada parcela experimental, nas doses: 0; 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>.

Para a avaliação do teor de amônio, nitrato e N mineral no solo incluiu-se um quarto fator, profundidade de solo, sendo estas 0-5; 5-10; 10-20; 20-40; e 40-60 cm, realizado em duas coletas. A primeira ocorreu 15 dias após adubação nitrogenada do feijoeiro, no dia 20 de janeiro de 2017, e a segunda ocorreu no dia 13 de março de 2017, no momento da colheita da cultura. A coleta de solo ocorreu em

três pontos aleatórios dentro de cada subparcela, formando uma amostra composta. O esquema fatorial para esta avaliação foi do tipo 2 x 2 x 4 x 5 (tempo de adubação de N, altura do pasto, doses de N, profundidade de solo).

Após cada coleta efetuou-se a secagem de solo em estufa de circulação de ar forçado a 55°C por um período de 5 dias, sendo posteriormente moído em moinho específico para solo utilizando peneira de malha 2 mm. Após o solo foi acondicionado adequadamente para a avaliação dos nutrientes.

Nas subparcelas do feijoeiro procedeu-se a coleta da parte aérea das plantas para avaliação da matéria seca (MS) produzida e o teor de N, P e K no tecido. Neste momento procedeu-se a inclusão de um quarto fator, denominado tempo de avaliação de plantas em função dos dias após a semeadura (DAS). O esquema fatorial para a determinação da MS, teor de N, P e K da parte aérea do feijoeiro é do tipo 2 x 2 x 4 x 7 (tempo de adubação de N, altura de pasto, doses de N, dias após a semeadura), com três repetições, em delineamento blocos ao acaso.

Para facilitar o entendimento do experimento, a aplicação dos fatores e a visualização das avaliações realizadas na fase cultura de grãos, segue detalhamento: Fator A: tempo de adubação de N (N-Fert. Pastagem e N-Fert. Grãos). Fator B: altura de pasto (alta e baixa altura). Fator C: doses N nas subparcelas (0; 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>). Fator D: avaliação de plantas (35; 43; 49; 60; 73; 93 e 103 DAS).

Os cortes da parte aérea das plantas de feijoeiro foram realizados a 1 cm do solo aos 35; 43; 49; 60; 74; 93 e 103 DAS, com as plantas em estágio de desenvolvimento de V3 (estádio vegetativo com 2 folhas trifolioladas totalmente expandidos) até R9 (estádio reprodutivo de maturação fisiológica). As amostragens da parte aérea das plantas foram efetuadas em uma área de 0,672 m<sup>2</sup>, com 1,5 m x de comprimento por 0,45 m de entrelinha. No dia 05 de janeiro de 2017 foi realizado o primeiro corte das plantas de feijão, no dia da adubação nitrogenada de cobertura, quando a cultura atingiu, na média de todas as subparcelas, 392 kg de MS ha<sup>-1</sup>.

Após o corte e pesagem da matéria verde das plantas, estas foram alocadas em estufa de circulação de ar forçado a 55°C, sendo, posteriormente, determinado a matéria seca (MS) e moídas em moinho tipo “Willey” utilizando peneira de malha 1 mm. As plantas foram adequadamente condicionadas para posterior avaliação dos nutrientes.

### 3.4 ANÁLISES LABORATORIAIS

Para a determinação dos nutrientes no solo procedeu-se conforme as metodologias apresentadas a seguir. A análise de amônio, nitrato e N mineral do solo foi efetuada conforme metodologia de Bremner e Keeney (1966), pelo método semi-micro-Kjeldahl de destilação de arraste a vapor utilizando KCl 1M, conforme descrito em Tedesco et al. (1995), realizada no Laboratório Laqua, UTFPR/Pato Branco.

Para determinação dos nutrientes no feijoeiro procedeu-se conforme as metodologias a seguir. Para extração do N, P e K das plantas procedeu-se a digestão sulfúrica em bloco digestor, conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995). Posteriormente, determinou-se o teor de N pelo método semi-micro-Kjeldahl de destilação de arraste a vapor no Laboratório Laqua, UTFPR/Pato Branco, o P foi determinado no Laboratório de Análise de Solo, UTFPR/Pato Branco e o K foi determinado na Central de Análises, UTFPR/Pato Branco, seguindo as metodologias descritas em Tedesco et al. (1995).

### 3.5 VARIÁVEIS ANALISADAS

#### 3.5.1 Produção de matéria seca, componentes do rendimento e produtividade do feijoeiro

Com o intuito de verificar o efeito de doses de N aplicadas em cobertura no feijoeiro, o efeito residual do manejo da pastagem e do tempo de adubação de N, foram avaliadas a matéria seca em 7 avaliações de plantas, os componentes do rendimento (número de vagens por planta, número de grãos por vagem, peso de mil grãos) e a produtividade do feijoeiro.

Aos 35; 43; 49; 60; 73; 93 e 103 dias após a semeadura do feijoeiro (DAS) procedeu-se a avaliação de plantas e a determinação da matéria seca produzida pela cultura entre cada corte. No dia 13 de março de 2017 procedeu-se a colheita das subparcelas do feijoeiro e estimativa do rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) pelo arranquio manual de plantas em uma área de  $4,05 \text{ m}^2$  em cada subparcela. As plantas colhidas foram trilhadas, pesadas e determinada a umidade com correção para 13%, obtendo-se o rendimento de grãos de cada subparcela. Para determinação do número de



vagens/planta e número de grãos/vagem foram coletadas 15 plantas aleatoriamente dentro de cada subparcelas e procedido a contagem. O peso de mil grãos foi efetuado a partir das amostras de feijoeiro colhidas para determinar o rendimento de grãos de cada subparcela, fazendo-se a contagem e pesagem de 1000 grãos.

### 3.5.2 Avaliação do estado nutricional de plantas

Com o objetivo de realizar o diagnóstico do estado nutricional do feijoeiro foram realizadas 7 avaliações de plantas ao longo do ciclo da cultura, e para produzir a curva de diluição de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) utilizou-se as variáveis massa seca acumulada (MS) e concentração de N, P e K na parte aérea das plantas. Os procedimentos e detalhes para a determinação da matéria seca, teor de N, P e K no tecido das plantas estão descritos em item supracitado.

O estado nutricional de N do feijoeiro foi determinado a partir do acúmulo de MS e da concentração de N na parte aérea das plantas, por meio de regressão não-linear, conforme equação de Lemaire e Salette (1984):

$$N\% = a (MS)^{-b}$$

Onde:

N % = concentração de N na planta expressa em percentual de MS;

MS = quantidade de MS acumulada em t ha<sup>-1</sup> na parte aérea das plantas;

a = coeficiente que representa o teor de N na planta para cada 1.000 kg ha<sup>-1</sup> de MS acumulada na parte aérea das plantas;

b = coeficiente que caracteriza a velocidade de redução do teor de N durante o ciclo de desenvolvimento da planta.

Os coeficientes *a* e *b* e as curvas de diluição de N (regressões não lineares) foram determinados em cada combinação de tempo de adubação de N e altura de pasto utilizando o software estatístico Statgraphics para gerar os parâmetros, e, posteriormente, confrontar os resultados obtidos com a equação proposta por Lemaire e Salette (1984), para as espécies de plantas C3.

A equação que expressa a concentração de N em plantas C3, como o feijoeiro, em função do acúmulo de MS proposta por Lemaire (1997) é:

$$N\% = 4,8 (MS)^{-0,32}$$

Onde:

N% = concentração de N na planta expressa em percentual de MS;

4,8 = porcentagem de N contida na parte aérea das plantas em uma massa conhecida;

MS = quantidade de MS acumulada em t ha<sup>-1</sup> na parte aérea das plantas;

0,32 = coeficiente que caracteriza a velocidade de redução do teor de N durante o ciclo de desenvolvimento da planta.

A partir do conhecimento da porcentagem de N na planta pode-se estimar o Índice Nutricional Nitrogenado (INN), conforme equação proposta por Lemaire (1997), o Índice Nutricional de Fósforo (iP) e o Índice Nutricional de Potássio (iK), conforme equações propostas por Duru e Théliier-Huché (1997).

$$\text{INN} = 100 \text{ N\%} / 4,8 (\text{MS})^{-0,32}$$

$$\text{iP} = 100 \text{ P\%} / (0,15 + 0,065 \text{ N\%})$$

$$\text{iK} = 100 \text{ K\%} / (1,6 + 0,525 \text{ N\%})$$

Onde:

INN = índice nutricional nitrogenado;

N% = concentração de N na planta expressa em percentual de MS;

4,8 = porcentagem de N contida na parte aérea das plantas em uma massa conhecida;

MS = quantidade de MS acumulada em t ha<sup>-1</sup> na parte aérea das plantas;

0,32 = coeficiente que caracteriza a velocidade de redução do teor de N durante o ciclo de desenvolvimento da planta;

iP = índice nutricional de fósforo;

P% = concentração de P na planta expressa em percentual de MS;

iK = índice nutricional de potássio;

K% = concentração de K na planta expressa em percentual de MS.

Os índices nutricionais de N, P e K foram interpretados conforme as recomendações de Lemaire (1997) e Duru e Théliier-Huché (1997), identificando se a planta está bem, adequada ou mau nutrida, conforme os tratamentos aplicados.

Na determinação da curva crítica de N, P e K para o feijoeiro foi efetuada a identificação de pontos de dados para os quais o N, P e K não limitavam o crescimento das plantas ou não estavam em excesso (Tabela 3). Esses pontos de dados correspondem a uma taxa de N, P e K acima da qual a biomassa da parte aérea

não aumentaria significativamente. Foi utilizado o procedimento proposto por Greenwood et al. (1990) e Ziadi et al. (2010) para identificar os pontos.

**Tabela 3** - Interpretação dos índices nutricionais de nitrogênio (INN), conforme modelo proposto por Lemaire (1997), de fósforo (iP) e potássio (iK), conforme modelo proposto por Duru e Théliér-Huché (1997).

INN	iP e iK	Interpretação
>100	>120	Excedente
-	100-120	Muito satisfatório
80-100	80-100	Satisfatório
60-80	60-80	Insuficiente
>60	>60	Muito insuficiente

### 3.5.3 Análise estatística dos dados

Os dados referentes a amostragem de solo na fase pastagem de azevém, amônio, nitrato e N mineral, foram submetidos a análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, e, havendo diferença significativa, avaliados pelo teste LSD a 5% de probabilidade, conforme esquema trifatorial 2 x 2 x 5, em parcelas subdivididas, sendo: Fator A= tempo de adubação de N (N-Fert. Pastagem e N-Fert. Grãos); Fator B= altura de pasto (alta e baixa altura); e, Fator C= profundidade de solo (0-5; 5-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm), em delineamento blocos ao acaso, com três repetições.

Os dados referentes a amostragem de solo na fase cultura de grãos, amônio, nitrato e N mineral, foram submetidos a análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, e, havendo diferença significativa, avaliados pelo teste LSD a 5% de probabilidade, conforme esquema multifatorial 2 x 2 x 4 x 5, em parcelas subsubdivididas, sendo: Fator A= tempo de adubação de N (N-Fert. Pastagem e N-Fert. Grãos); Fator B= altura de pasto (alta e baixa altura); Fator C= doses de N (0; 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>); e, Fator D= profundidade de solo (0-5; 5-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm), em delineamento blocos ao acaso, com três repetições.

Os dados referentes a matéria seca acumulada e teor de N, P e K da parte aérea do feijoeiro foram submetidos a análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, e, havendo diferença significativa, avaliados pelo teste LSD a 5% de probabilidade, conforme esquema multifatorial 2 x 2 x 4 x 7, em parcelas subsubdivididas, sendo: Fator A= tempo de adubação de N (N-Fert. Pastagem e N-Fert. Grãos); Fator B= altura de pasto (alta e baixa altura); e, Fator C= doses N (0; 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>); Fator D= dias após a semeadura (35; 43; 49; 60; 74; 93 e

103 DAS) em delineamento blocos ao acaso, com três repetições.

Observados os resultados da análise de variância, as variáveis que apresentaram diferença significativa foram comparadas pelo teste LDS em nível de 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico Statgraphics. Quando houve efeito de interação foi efetuado o desdobramento da mesma.

As médias e as respectivas diferenças mínimas significativas (DMS) foram representadas graficamente utilizando-se o aplicativo computacional estatístico SigmaPlot® versão 12.0 (SYSTAT SOFTWARE, SAN JOSE, CA).

Para determinação das curvas de diluição de N foi efetuado o procedimento de regressão não-linear dos dados selecionados, gerando os coeficientes através do software estatístico Statgraphics. As curvas de diluição de N foram representadas graficamente utilizando-se o aplicativo computacional estatístico SigmaPlot® versão 12.0 (SYSTAT SOFTWARE, SAN JOSE, CA).

Os resultados de produtividade e dos componentes de rendimento do feijoeiro, número de grãos vagem<sup>-1</sup>, número de vagens planta<sup>-1</sup> e peso de mil grãos (PMG) foram submetidos a análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, e, havendo diferença significativa, avaliados pelo teste LSD a 5% de probabilidade. Para este procedimento utilizou-se o software estatístico Statgraphics.

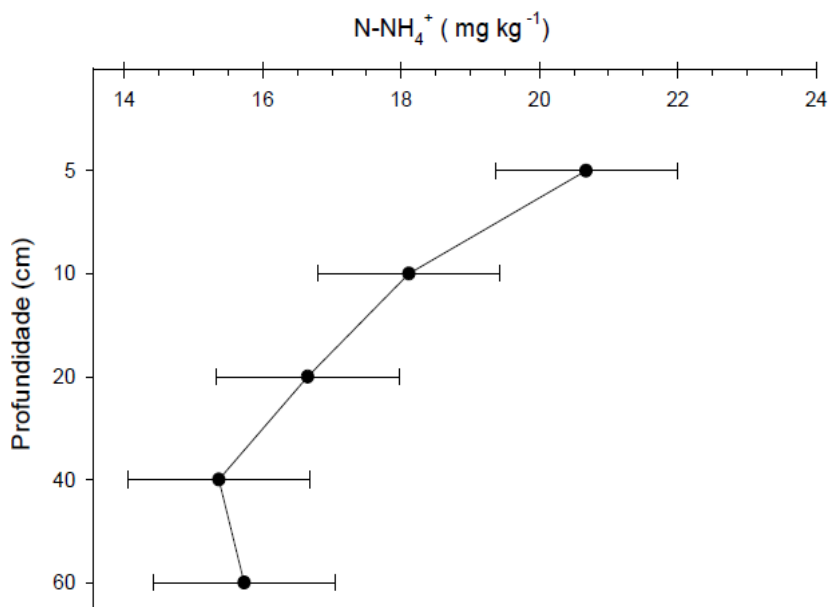
Para avaliar o efeito das doses de N (fator quantitativo) sobre as variáveis analisadas, procedeu-se a análise de regressão utilizando-se o aplicativo computacional estatístico SigmaPlot® versão 12.0 (SYSTAT SOFTWARE, SAN JOSE, CA).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 COMPORTAMENTO DO AMÔNIO, NITRATO E N MINERAL NO SOLO

#### 4.1.1 Avaliação realizada após o cultivo do feijão das secas e antes da semeadura da pastagem de azevém no inverno de 2016

A análise da variância para o teor de amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) no solo indicou diferença significativa e efeito isolado da profundidade de solo ( $P=0,0455$ ; Anova - Anexo 1). O maior teor de amônio no solo ocorreu na camada de 0 a 5 cm de profundidade, com valor médio de  $20,67 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo. Nas maiores profundidades o teor de amônio reduziu, apresentando o menor valor na camada de 20 a 40 cm de profundidade,  $15,37 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo, muito próximo dos  $15,73 \text{ mg kg}^{-1}$  da camada 40 a 60 cm (Figura 5).



**Figura 5** - Teor de amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) no solo após o cultivo do feijão das secas e antes da semeadura da pastagem de azevém no inverno de 2016 em função da profundidade de solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

A colheita do feijão das secas condicionou a retirada dos grãos da área, todavia, houve permanência dos restos culturais sobre o solo e de raízes no perfil de solo, e devido a cultura ser da família das Fabaceae, possui baixa relação C/N (BONA FILHO, 2002), o que pode ter favorecido a atividade biológica e com isso o processo

de decomposição, resultando na mineralização do N na forma de amônio.

O maior teor de amônio na camada superficial do solo corrobora a presença dos restos culturais do feijão das secas, e, possivelmente devido ao processo de mineralização dos restos culturais ainda estar no início, resultou nos elevados teores de amônio no solo. Cabe destacar que o amônio presente no solo pode ser absorvido pela cultura subsequente, permanecer adsorvido à CTC do solo ou sofrer imobilização na biomassa microbiana, reduzindo a possibilidade de perdas. Para que isto ocorra é relevante que haja pousio zero na área, ou seja, a presença constante de plantas crescendo sobre o solo para que possam absorver o amônio, podendo também ser nitrificado pelos microrganismos do solo e transformado em nitrato.

Os menores teores de amônio com profundidade do solo indicam que o N adicionado pela adubação nitrogenada do feijoeiro das secas e o N proveniente da mineralização dos restos culturais dos cultivos anteriores foram absorvidos pela cultura ou imobilizado na biomassa microbiana. O feijão das secas cultivado anteriormente a coleta de solo recebeu adubação nitrogenada, estando, portanto, bem nutrido em N, e após sua colheita os resíduos culturais remanescentes apresentaram baixa relação C/N, o que propiciou ambiente rico em C e N, favorecendo o processo de mineralização e ciclagem do N.

Ao avaliar o comportamento do nitrato no solo após a colheita do feijão das secas evidenciou-se que não houve diferença significativa entre as variáveis estudadas, todavia, cabe destacar que os teores de nitrato variaram de 4,89 a 18,16 mg kg<sup>-1</sup> de solo, sendo o maior teor médio de 13,17 mg kg<sup>-1</sup> na camada de 0 a 5 cm de profundidade, e o menor teor médio de 10,06 mg kg<sup>-1</sup> na camada de 40 a 60 cm de profundidade (Anova - Anexo 2). A partir disso, verifica-se que o teor médio de nitrato apresenta tendência de redução com a profundidade do solo, e que neste momento de avaliação indicam não haver lixiviação de nitrato no perfil de solo, corroborando as constatações de Ketterings et al. (2012).

O teor de N mineral do solo apresentou comportamento semelhante ao do nitrato, não havendo diferença significativa entre as variáveis estudadas, todavia, cabe salientar que os teores de N mineral variaram de 16,99 a 41,56 mg kg<sup>-1</sup> de solo, sendo o maior teor médio de 33,85 mg kg<sup>-1</sup> na camada de 0 a 5 cm de profundidade, e o menor teor médio de 25,61 mg kg<sup>-1</sup> na camada de 20 a 40 cm de profundidade

(Anova - Anexo 3).

Os teores de amônio e nitrato no solo após a colheita do feijão das secas e antes da semeadura do azevém são maiores nas camadas superficiais do solo, especificamente de 0 a 5 cm de profundidade, o que está atrelado a presença de C e N, o que favorece a atividade biológica, a mineralização do N e sua ciclagem. Esta constatação reforça a necessidade de haver pousio zero em sistemas integrados de produção agropecuária, pois a mineralização do N e sua ciclagem entre os cultivos pode não ocorrer somente no curto prazo, e para maior aproveitamento desse nutriente é fundamental a presença, o que resulta em redução das perdas e maximização do uso do N pelo processo de ciclagem entre os cultivos.

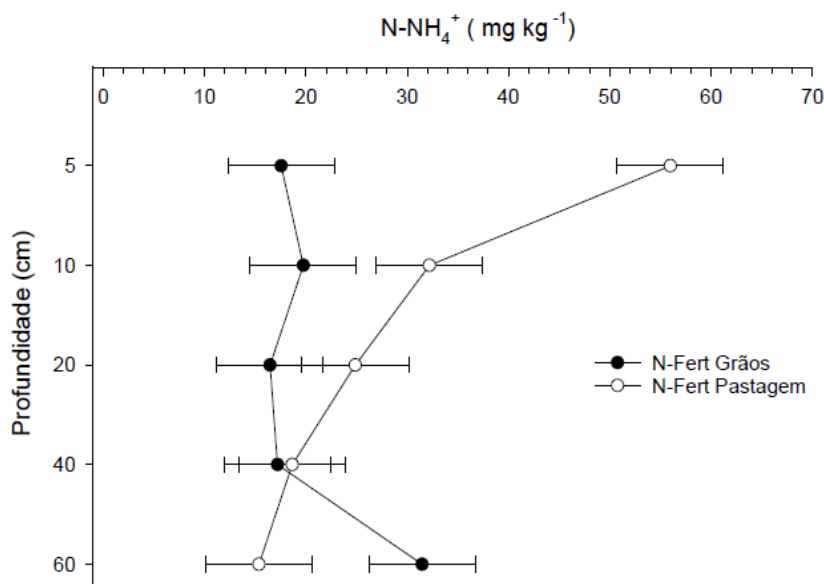
#### 4.1.2 Avaliação realizada aos quinze dias após a adubação nitrogenada da pastagem de azevém no inverno de 2016

O teor de amônio no solo aos quinze dias após a adubação nitrogenada do azevém apresentou efeito de interação dupla entre o tempo de adubação de N e a profundidade de solo ( $P=0,0002$ ; Anova - Anexo 4). O teor de amônio no solo foi maior no tratamento N-Fert. Pastagem em relação ao tratamento N-Fert. Grãos, havendo diferença significativa nas camadas de 0-5; 5-10 e 40-60 cm de profundidade, com tendência de redução com a profundidade do solo (Figura 6).

Elevados teores médios de amônio foram verificados no tratamento N-Fert. Pastagem na camada de 0 a 5 cm de profundidade  $55,98 \text{ mg kg}^{-1}$ , reduzindo com a profundidade, chegando a  $15,37 \text{ mg kg}^{-1}$  na camada de 40 a 60 cm. No tratamento N-Fert. Grãos o comportamento do amônio foi diferente, apresentando teor médio de  $17,56 \text{ mg kg}^{-1}$  na camada de 0 a 5 cm e de  $31,47 \text{ mg kg}^{-1}$  na camada de 40 a 60 cm de profundidade. Bernardon (2016) e Levinski-Huf (2018) evidenciaram maiores teores médios de amônio na camada de 0 a 5 cm, com redução em função da profundidade do solo, o que está atrelado a adubação nitrogenada no tratamento N-Fert. Pastagem, corroborando aos resultados do presente trabalho, todavia, verificaram incremento no teor de amônio na camada de 20 a 40 cm em relação as camadas de 5 a 10 cm e 10 a 20 cm de profundidade.

Elevados teores médios de amônio foram verificados no tratamento N-Fert. Pastagem na camada de 0 a 5 cm de profundidade  $55,98 \text{ mg kg}^{-1}$ , reduzindo

com a profundidade, chegando a 15,37 mg kg<sup>-1</sup> na camada de 40 a 60 cm. No tratamento N-Fert. Grãos o comportamento do amônio foi diferente, apresentando teor médio de 17,56 mg kg<sup>-1</sup> na camada de 0 a 5 cm e de 31,47 mg kg<sup>-1</sup> na camada de 40 a 60 cm de profundidade. Bernardon (2016) e Levinski-Huf (2018) evidenciaram maiores teores médios de amônio na camada de 0 a 5 cm, com redução em função da profundidade do solo, o que está atrelado a adubação nitrogenada no tratamento N-Fert. Pastagem, corroborando aos resultados do presente trabalho, todavia, verificaram incremento no teor de amônio na camada de 20 a 40 cm em relação as camadas de 5 a 10 cm e 10 a 20 cm de profundidade.



**Figura 6** - Teor de amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura na pastagem de azevém no inverno de 2016 em função da interação entre tempo de adubação de N e profundidade de solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Após a adubação nitrogenada da pastagem de azevém ocorreu a hidrólise da ureia pela ação da enzima urease, com liberação de amônio, o qual tende a permanecer nas camadas superficiais do solo devido a maior presença de microrganismos e CTC do solo por argilas e matéria orgânica, com possibilidade de absorção pelas plantas ou imobilização na biomassa microbiana.

Um fator que pode ter corroborado para o incremento no teor de amônio com a profundidade do solo no tratamento N-Fert. Grãos pode estar associado ao fato que antes da implantação da pastagem de azevém a cultura de grãos era o feijão das secas, uma Fabaceae que fixa N do ar pela associação com bactérias simbióticas,



resultando na produção de nódulos nas raízes, os quais podem ter sido decompostos pelos microrganismos do solo e mineralizado N. Também, a adubação nitrogenada do feijão das secas pode ter estimulado o crescimento radicular em profundidade, que após o ciclo de cultivo foram decompostas por microrganismos do solo, resultando na mineralização do N e produção de amônio em profundidade.

O incremento no teor de amônio com a profundidade do solo não é esperado, todavia, em sistemas integrados de produção agropecuária há reserva de N no solo na forma orgânica devido a entrada constante de C e N via fezes e urina dos animais, além do crescimento radicular, os quais estimulam a atividade biológica, resultando no processo de mineralização do N ao longo do tempo, promovendo sua ciclagem, mesmo em camadas mais profundadas, o que remete na importância do pousio zero e constante crescimento de plantas para absorver o N, reduzido a possibilidade de perdas deste importante nutriente.

O maior teor de amônio no solo verificado no tratamento N-Fert. Pastagem permite destacar que a pastagem bem adubada promove maior produção de biomassa vegetal ( $2.315 \text{ kg ha}^{-1}$ ), com resíduos que apresentam maior teor de N (3,6%), e, conseqüentemente, menor relação C/N (BARRIGA, 2019), maximizando a atividade biológica pela entrada de C e N no sistema. Os resultados nesse tratamento podem estar atrelados ao efeito residual que vem acompanhado do fator memória do solo, destacado por Assmann et al. (2018), ou seja, quando se aduba adequadamente a pastagem há maior produção de biomassa vegetal que se reflete em menor relação C/N do resíduo, o que estimula os microrganismos e a ciclagem do N, mantendo-o no sistema por mais tempo. A ciclagem do N entre os componentes solo-planta-animal em sistemas de ILP é fundamental para a redução das perdas, menor entrada de N via adubação, redução de custos e de impactos ambientais (ANGHINONI et al., 2011; ASSMANN et al., 2018). Para que isso ocorra, deve-se proceder a adubação da pastagem e haver a presença constante do componente animal, além da manutenção de resíduos no solo como prática conservacionista.

Ao avaliar o comportamento do nitrato no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada do azevém, evidenciou-se efeito de interação dupla (Anova - Anexo 5) entre o tempo de adubação de N e altura do pasto ( $P=0,0122$ ), tempo de adubação de N e profundidade de solo ( $P=0,0000$ ), altura do pasto e profundidade de solo ( $P=0,0434$ ).

Com relação a interação tempo de adubação de N e altura do pasto sobre o nitrato do solo (Figura 7), evidencia-se que os maiores teores ocorreram no tratamento N-Fert. Pastagem, o que está atrelado a adubação nitrogenada da pastagem. O maior teor de nitrato ocorreu no tratamento N-Fert. Pastagem com o pasto manejado em baixa altura ( $33,51 \text{ mg kg}^{-1}$ ), já o menor teor de nitrato ocorreu no tratamento N-Fert. Grãos com o pasto manejado em baixa altura ( $5,12 \text{ mg kg}^{-1}$ ), todavia, não diferindo do pasto manejado em alta altura. Bernardon (2016) e Levinski-Huf (2018) também evidenciaram maiores teores de nitrato no perfil de solo no tratamento N-Fert. Pastagem, independente do manejo da altura do pasto, o que corrobora ao evidenciado no presente trabalho.

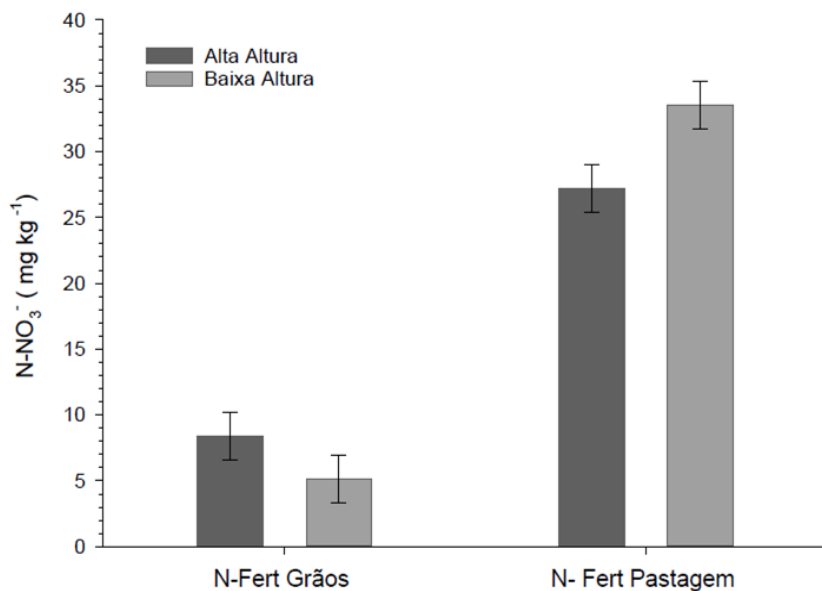
O maior teor de nitrato no solo no tratamento N-Fert. Pastagem com a pastagem manejada em baixa altura pode estar associado a adubação nitrogenada e ao histórico da parcela em receber maior carga animal visando manter a altura do pasto de 10 cm, o que resulta em maior deposição de fezes e urina, promovendo a entrada e a ciclagem de C e N no sistema, o que estimula a atividade biológica e os processos de mineralização e imobilização do N.

Segundo Assmann et al. (2018), em sistema de ILP há um efeito residual do N no solo, como se fosse uma espécie de memória do solo, que corrobora ao histórico de manejo do solo e da pastagem. Em sistemas de ILP bem manejados, ou seja, com adubação da pastagem e manejo adequado da altura do pasto, evidencia-se benefícios de longo prazo em relação a dinâmica dos nutrientes no sistema solo-planta-animal, o que promove melhorias nas características químicas, físicas e biológicas do sistema, corroborando a mineralização/imobilização do N, com efeitos importantes sobre a ciclagem de nutrientes (ANGHINONI et al., 2011; ASSMANN et al., 2008; CARVALHO; MORAES, 2005).

Segundo Levinski-Huf (2018) e Assmann et al. (2018), quando se aduba somente a cultura de grãos e não a pastagem, pode ocorrer limitação de N às plantas, com baixos teores de nitrato no solo que podem ocasionar problemas no crescimento da pastagem, com possível redução na produção de MS e de menor qualidade pela maior relação C/N, comprometendo a pastagem e o ganho de peso dos animais.

A interação entre o tempo de adubação de N e a profundidade de solo demonstra elevados teores de nitrato no tratamento N-Fert. Pastagem até a profundidade de 20 cm, reduzindo drasticamente dos 20 aos 60 cm (Figura 8). Na

camada de 0 a 5 cm de profundidade o teor médio de nitrato foi de 71,35 mg kg<sup>-1</sup> de solo, reduzindo para 35,86 mg kg<sup>-1</sup> na camada de 5 a 10 cm e para 6,59 mg kg<sup>-1</sup> na camada de 40 a 60 cm.

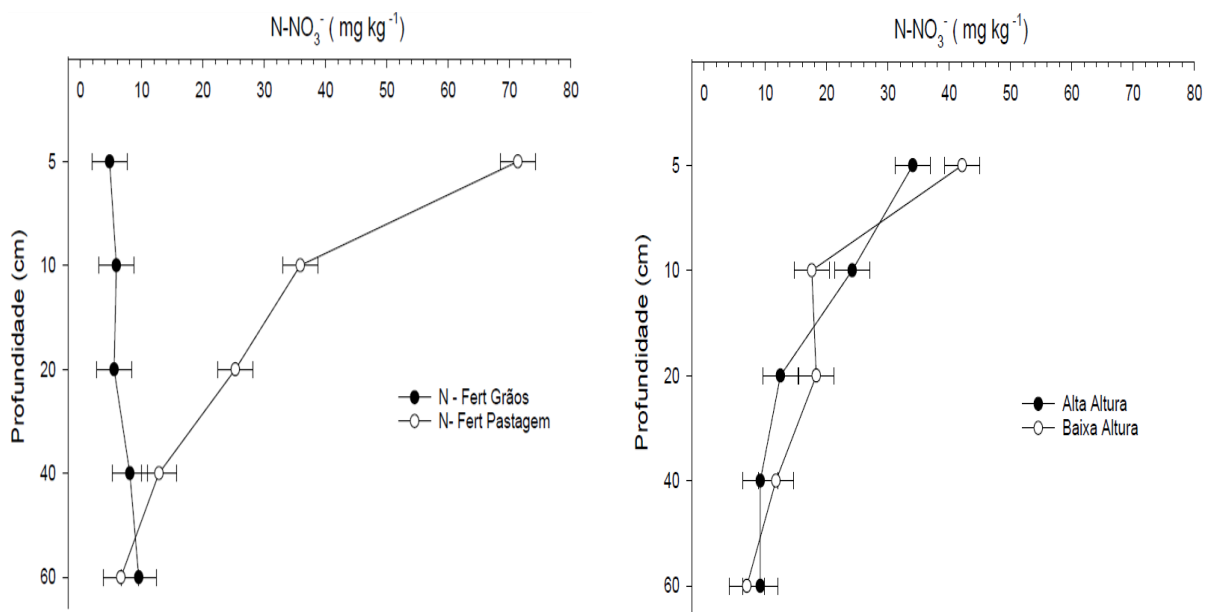


**Figura 7** - Teor de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura na pastagem de azevém no inverno de 2016 em função da interação entre tempo de adubação de N e altura de pasto. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Bernardon (2016) também evidenciou elevados teores de nitrato no solo aos 10 dias após a adubação nitrogenada do consórcio azevém mais aveia, com teor próximo aos 100 mg kg<sup>-1</sup> de solo na camada de 0 a 5 cm, reduzindo com a profundidade. Levinski-Huf (2018) destaca que não houve aumento nos teores de nitrato com a profundidade do solo mesmo com a aplicação de 200 kg de N ha<sup>-1</sup>, destacando que em sistemas de ILP bem manejados as perdas por lixiviação de nitrato são praticamente depressíveis. Da mesma forma, Sartor et al. (2011) não verificaram aumento nos teores de nitrato em profundidade superior aos 10 cm com a aplicação de 200 kg de N ha<sup>-1</sup> em pastagem de *Urochloa plantaginea* (papuã). Levinski-Huf (2018) e Sartor et al. (2011) destacam que as plantas forrageiras apresentam grande capacidade de absorção de N e produção de MS, e que as raízes se concentram nas camadas superficiais, minimizando o processo de lixiviação no perfil de solo.

O maior teor de nitrato na camada de 0 a 5 cm de profundidade ocorre em função da adubação nitrogenada em cobertura e da atividade biológica que

promove a nitrificação do N e, mesmo aos 15 dias após a adubação nitrogenada, o nitrato permaneceu na camada superficial do solo, indicando que em sistemas de ILP a dinâmica dos nutrientes, mesmo os considerados móveis no solo, é modificada. Assmann et al. (2018); Bernardon (2016), Levinski-Huf (2018) e Sartor et al. (2011) destacam que em sistemas de ILP a dinâmica dos nutrientes é modificada devido a adubação da pastagem no inverno e a presença dos animais que potencializam a atividade biológica e a ciclagem dos nutrientes.



**Figura 8** - Teor de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura na pastagem de azevém no inverno de 2016 em função da interação entre tempo de adubação de N e profundidade do solo e entre a altura de pasto e a profundidade do solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

O teor de nitrato na camada de 40 a 60 cm de profundidade no tratamento N-Fert. Pastagem é cerca de 10 vezes menor que na camada de 0 a 5 cm, o que permite afirmar que não está havendo lixiviação de nitrato ao longo do perfil de solo aos 15 dias após a aplicação de 200 kg de N ha<sup>-1</sup> na pastagem de azevém. Os resultados permitem afirmar que boa parte do N aplicado via ureia foi nitrificado por bactérias do solo, tais como *Nitrossomonas* e *Nitrobacter*, o que é esperado devido ao ambiente aeróbio e a entrada de N no sistema. Costa et al. (2008) ao avaliar doses e fontes de N em pastagem de *Brachiaria brizantha*, cv. Marandu, evidenciaram menores teores de nitrato na camada de 20 a 40 cm em relação a camada de 0 a 20 cm de profundidade, destacando pequena lixiviação do perfil de solo. Destacam também que pastagens são excelentes extratoras de N do solo, reduzindo a

possibilidade de lixiviação de nitrato.

No tratamento N-Fert. Grãos os teores médios de nitrato no solo foram praticamente constantes com a profundidade, havendo variação de 4,76 a 9,51 mg kg<sup>-1</sup> de solo nas camadas de 0 a 5 cm e 40 a 60 cm, respectivamente. Os resultados indicam que o N aplicado na cultura de grãos anterior a pastagem de azevém, neste tratamento, pode ter sido absorvido pelo feijão das secas e exportado nos grãos, estar presente nos restos culturais e ainda não mineralizado ou estar imobilizado na biomassa microbiana.

Assim como observado por Bernardon (2016) e Levinski-Huf (2018) quando da adubação nitrogenada da pastagem em sistema de ILP, não foi evidenciado lixiviação de nitrato no perfil de solo, indicando que altas doses de N podem ser utilizadas visando a produção de pasto em quantidade e qualidade, maximizando o pastejo dos animais e o ganho de peso.

Evidenciou-se interação da altura do pasto e profundidade de solo sobre o teor de nitrato (Figura 8), com redução no teor em função da profundidade de solo para ambas alturas de pasto. O maior teor médio de nitrato ocorreu na camada de 0 a 5 cm de profundidade, 42,08 mg kg<sup>-1</sup> de solo com o pasto manejado em baixa altura, e 34,03 mg kg<sup>-1</sup> de solo com o pasto manejado em alta altura.

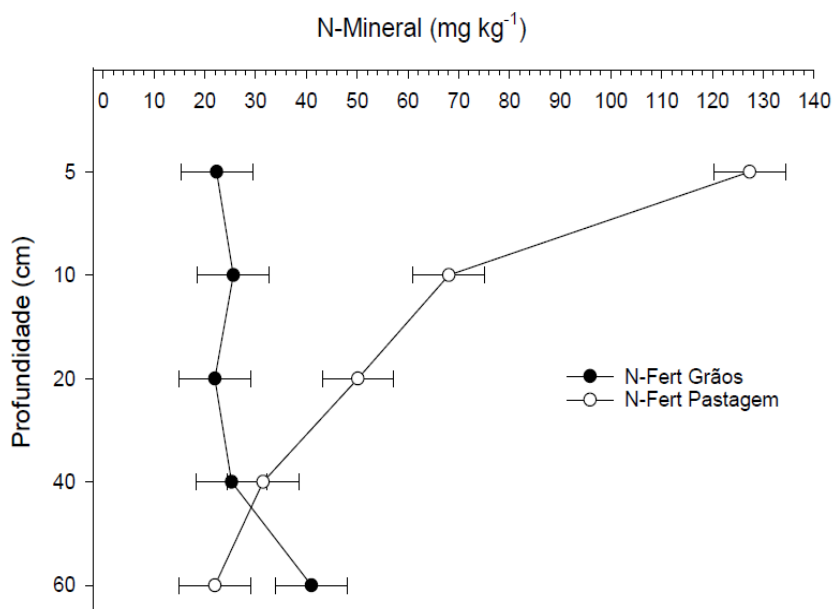
O maior teor de nitrato na camada superficial do solo ocorre em função da adubação nitrogenada, presença de restos culturais e aporte de fezes e urina pelos animais, todavia, potencializado com o pasto manejado em baixa altura devido a maior taxa de lotação, o que promove aumento da atividade biológica, mineralização e nitrificação do N.

O amônio e o nitrato apresentaram comportamento semelhante, com os maiores teores no tratamento N-Fert. Pastagem e na camada de 0 a 5 cm de profundidade. Esta condição permite afirmar que mesmo ao aplicar 200 kg de N ha<sup>-1</sup> na forma de ureia, não se evidenciam perdas de N por lixiviação num período de 15 dias após a adubação, o que pode estar atrelado ao intenso crescimento da pastagem e a atividade biológica no solo, corroborando a manutenção do N próximo a superfície do solo, reduzindo a possibilidade de perdas por lixiviação.

O elevado teor de amônio no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada permite afirmar que o processo de nitrificação ocorreu, mas de maneira não intensa, e por ser catiônico, tende a ficar adsorvido à CTC do solo nas camadas

superficiais, além de ser absorvido pelas plantas, imobilizado na biomassa microbiana ou ainda nitrificado.

Ao avaliar o teor de N mineral no solo evidencia-se efeito significativo e interação dupla entre o tempo de adubação de N e a profundidade de solo ( $P=0,0000$ ). O teor de N mineral reduziu com a profundidade no tratamento N-Fert. Pastagem, todavia, houve pequeno incremento com a profundidade no tratamento N-Fert. Grãos (Figura 9). Também, evidenciou-se diferença significativa nos teores de nitrato entre o tratamento N-Fert. Pastagem e N-Fert. Grãos nas profundidades 0-5; 5-10; 10-20 e 40-60 cm, não diferindo profundidade de 20-40 cm (Anova - Anexo 6).



**Figura 9** - Teor de N mineral ( $N-NH_4^+ + N-NO_3^-$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura na pastagem de azevém no inverno de 2016 em função da interação entre o tempo de adubação de N e profundidade do solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

O maior teor médio de N mineral no tratamento N-Fert. Pastagem aos 15 dias da adubação nitrogenada do azevém ocorreu na camada de 0 a 5 cm de profundidade ( $127,33 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo), o que possivelmente está atrelado a adubação nitrogenada, a mineralização do N dos restos culturais do feijão das secas, bem como a ciclagem do N via biomassa microbiana. Neste tratamento, na camada de 40 a 60 cm de profundidade, o teor de N mineral foi de  $21,95 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo, teor substancialmente inferior ao evidenciado na camada superficial. Esse resultado permite afirmar que aos 15 dias da adubação nitrogenada não houve lixiviação de N mineral no perfil do solo mesmo com a aplicação de  $200 \text{ kg de N ha}^{-1}$ .

Evidencia-se teores semelhantes de N mineral no solo no tratamento N-Fert. Grãos na camada de 0 a 40 cm, porém, diferença significativa e incremento ocorreu na camada de 40 a 60 cm de profundidade. Nesta camada o teor médio de N mineral foi de 40,98 mg kg<sup>-1</sup> de solo, já na camada de 0 a 5 cm de profundidade o teor médio foi de 22,32 mg kg<sup>-1</sup>. No tratamento N-Fert. Grãos, na camada de 0 a 40 cm de profundidade, a cultura antecessora pode ter absorvido o N ou este permaneceu imobilizado na biomassa microbiana, o que resultou em menores teores, todavia, o incremento do N mineral com a profundidade do solo não era esperado, porém, devido a pastagem não ter recebido adubação nitrogenada, pode ter produzido menos raízes em profundidade, explorando menos o solo e com isso extraído menos N.

Ao avaliar o tratamento N-Fert. Pastagem, verifica-se que a adubação nitrogenada promoveu incremento no teor de N mineral, principalmente nas camadas superficiais, de 0 a 20 cm, com redução dos 20 aos 60 cm de profundidade. Esta constatação indica que não houve lixiviação do N no período de 15 dias após a adubação nitrogenada na pastagem de azevém. Em sistemas de ILP bem conduzidos verifica-se que a adubação da pastagem é salutar para seu desenvolvimento, promovendo crescimento da parte aérea e de raízes, o que corrobora a absorção do N e redução da potencial lixiviação (ASSMANN et al., 2008; ASSMANN et al., 2018; BERNARDON, 2016; LEVINSKI-HUF, 2018).

#### 4.1.3 Avaliação realizada quinze dias após a adubação nitrogenada do feijoeiro na safra 2016/2017

Evidenciou-se efeito significativo e interação dupla (Anova - Anexo 7) do tempo de adubação de N e altura de pasto (P=0,0209), altura de pasto e doses de N (P=0,0154), e efeito isolado da profundidade de solo (P=0,0154) sobre o teor de amônio no solo.

Ao avaliar a interação do tempo de adubação de N e altura de pasto sobre o teor de amônio no solo evidencia-se que no tratamento N-Fert. Grãos houve redução no teor de amônio do solo no pasto manejado em alta altura (55,93 mg kg<sup>-1</sup>) para o pasto manejado em baixa altura (47,83 mg kg<sup>-1</sup>), já no tratamento N-Fert. Pastagem houve incremento no teor de amônio do solo do pasto manejado em alta altura (49,95 mg kg<sup>-1</sup>) para o pasto manejado em baixa altura (59,83 mg kg<sup>-1</sup>). Ao

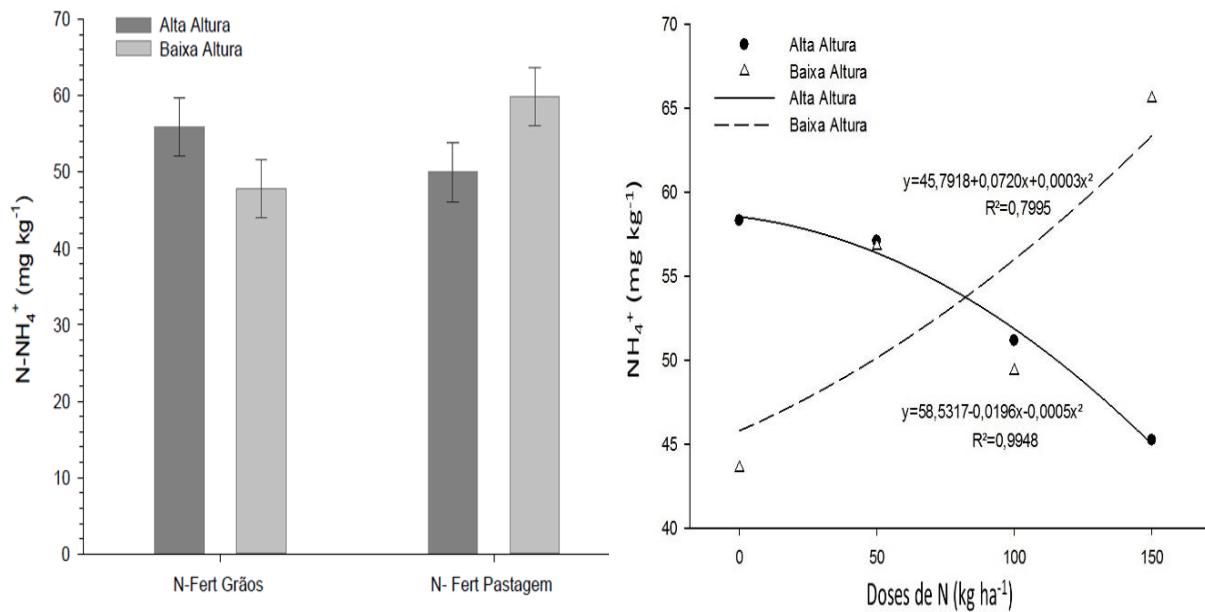
comparar as alturas de pasto dentro dos tempos de adubação de N, não houve diferença significativa para o pasto manejado em alta altura, todavia, houve diferença significativa para o pasto manejado em baixa altura (Figura 10).

O maior teor de amônio no solo com o pasto manejado em baixa altura no tratamento N-Fert. Pastagem pode estar atrelado a adubação nitrogenada da pastagem, resultando em restos culturais com menor relação C/N (teor de N na MS residual de 3,6%), associado a maior taxa de lotação animal, o que promoveu aporte de fezes e urina, potencializando a ciclagem do N, fatores que podem ter favorecido a atividade biológica e com isso a mineralização do N à amônio. Neste tratamento também houve maior teor médio de nitrato no solo, indicando que o processo de mineralização e nitrificação do N está acontecendo de forma mais intensa em relação aos demais tratamentos.

No tratamento N-Fert. Grãos com o pasto manejado em baixa altura (Figura 10) o menor teor de amônio no solo pode estar relacionado a baixa qualidade dos restos culturais da pastagem de azevém, pois não recebeu adubação nitrogenada, resultando em menor teor de N na MS residual, 2,64% (BARRIGA, 2019), com isso maior relação C/N, e, mesmo o feijoeiro recebendo adubação nitrogenada, o teor de amônio permaneceu inferior ao tratamento N-Fert. Pastagem, indicando que em sistemas de ILP a adubação da pastagem é fundamental para promover aporte de C e N ao solo, favorecendo a atividade biológica e o processo de mineralização do N.

De modo geral, os maiores teores de amônio no solo em relação ao nitrato aos 15 dias após a adubação nitrogenada do feijoeiro podem ter ocorrido em função da menor pluviosidade registrada no período, corroborado à redução das perdas de N por volatilização da amônia ou a sua transformação à nitrato. No mesmo experimento, Lima (2018) avaliou durante 15 dias a volatilização da amônia e evidenciou perdas de no máximo 5,37% do N aplicado, destacando que em sistemas de ILP as perdas podem ser reduzidas devido a maior atividade biológica e a ciclagem do N no sistema solo-planta-animal. Soussana e Lemaire (2014) destacam que é fundamental manter o C e o N acoplados, o que resulta em possibilidade de redução das perdas, aumento da ciclagem e da eficiência de uso do nutriente, e para tal, a presença do componente animal associado ao permanente crescimento de plantas e a manutenção de restos culturais dos cultivos é preponderante.





**Figura 10** - Teor de amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N e altura de pasto. Teor de amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função da altura de pasto e doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Levinski-Huf (2018) observou maior teor de N no solo na forma de amônio em relação ao nitrato aos 15 dias da aplicação de doses de N no feijão das secas em um sistema de ILP, com maior teor na camada de 10 a 20 cm de profundidade no tratamento N-Fert. Grãos e pasto manejado em alta altura, porém, no tratamento N-Fert. Pastagem o maior teor ocorreu na profundidade de 40 a 60 cm.

Ao avaliar o teor de amônio no solo em um experimento de ILP com diferentes alturas de pasto e tempo de adubação de N, sendo a pastagem de *Sorghum bicolor* (sorgo) e a cultura de grãos o *Zea mays* (milho), Bortolli (2016) evidenciou interação entre tempo de adubação de N e altura de pasto, com maiores teores amônio no solo no tratamento N-Fert. Grãos e o pasto manejado em baixa altura, destacando que a menor altura do pasto favoreceu a ciclagem de nutrientes durante o período de pastejo, e, associado a adubação nitrogenada do milho, promoveu os altos teores de amônio. Destaca também que não houve diferença significativa para os teores de amônio no perfil do solo até 60 cm de profundidade, variando de 6 a 18  $\text{mg kg}^{-1}$  de solo.

Segundo Luchese et al. (2002) e Meurer et al. (2000), o amônio é um par catiônico com possibilidade de adsorção às cargas elétricas dos colóides do solo,

reduzindo as perdas e retardando o processo de nitrificação, possibilitando a absorção pelas plantas ou utilização pela biomassa microbiana, o que pode justificar o maior teor de amônio no solo verificado no presente experimento.

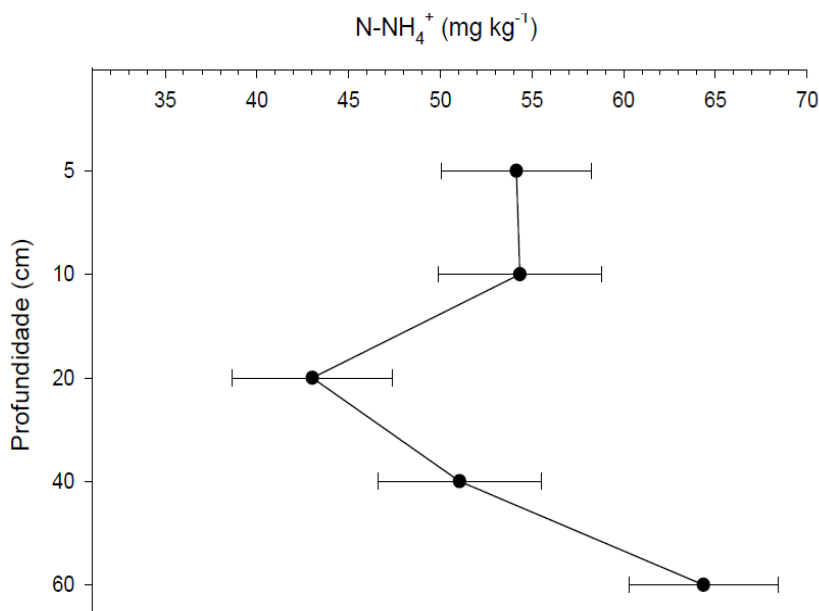
A partir das constatações supracitadas evidencia-se processos importantes em sistemas de ILP, que a adubação nitrogenada da pastagem e a presença do componente animal permite a passagem do N da fase pastagem para a fase cultura de grãos, resultando na ciclagem do N, contribuindo à nutrição nitrogenada da cultura de grãos. A adubação da pastagem permite a produção de pasto em quantidade e qualidade, com ganho de peso dos animais, e os resíduos da pastagem associados ao aporte fezes e urina favorecem a atividade biológica que contribui à ciclagem do N entre as fases do sistema. Esse aspecto é relevante para o manejo da adubação nitrogenada, indicando que em sistemas de ILP a adubação de sistemas é viável (ASSMANN et al., 2015; ASSMANN et al., 2018).

Para a interação dupla da altura de pasto e doses de N sobre o teor de amônio no solo, evidencia-se diferença significativa entre as alturas de pasto somente nas doses zero e 150 kg de  $\text{ha}^{-1}$  (Figura 10). Ao avaliar o efeito da pastagem manejada em alta altura sobre o teor de amônio no solo verifica-se redução no teor de amônio com as doses de N, o que pode indicar que a adubação nitrogenada no feijoeiro estimulou a atividade microbiana no processo de decomposição dos restos culturais do azevém, promovendo imobilização temporária do N, e, também, pelo fato de que houve aumento no teor de teor de nitrato do solo com as doses de N, o que pode ser evidenciado na Figura 17. Cabe salientar que a condição de imobilização temporária do N na biomassa microbiana é plausível devido a maior produtividade média do feijoeiro obtida no tratamento N-Fert. Pastagem com o pasto manejado em alta altura.

Todavia, quanto se maneja o pasto em baixa altura evidencia-se incremento no teor de amônio do solo com as doses de N, havendo diferença significativa entre a dose zero, 50 e 150 kg de N  $\text{ha}^{-1}$ . O maior teor médio de amônio no solo nesta avaliação ocorreu quando se aplicou a dose de 150 kg de N  $\text{ha}^{-1}$  e manejou-se a pastagem em baixa altura (65,57 mg  $\text{kg}^{-1}$ ), o que pode estar atrelado ao fato que neste tratamento houve maior carga animal visando manter o pasto na altura pretendida (10 cm), resultando em aporte de fezes e urina, e, somado a adubação nitrogenada, promoveram importante entrada de N no sistema, o que pode ter promovido menor imobilização do N pela biomassa microbiana e com isso incremento

no teor de amônio no solo. Este fato é importante, pois indica haver ciclagem do N entre a fase pastagem e a fase cultura de grãos.

Também foi evidenciado efeito da profundidade de solo sobre o teor de amônio (Figura 11). O maior teor médio de amônio foi verificado na profundidade de 40 a 60 cm ( $64,35 \text{ mg kg}^{-1}$ ), enquanto que o menor teor médio ocorreu na profundidade de 10 a 20 cm ( $43,02 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Os teores médios de amônio entre  $54,15$  e  $54,34 \text{ mg kg}^{-1}$  na camada de 0 a 5 e de 5 a 10 cm de profundidade, respectivamente, indicam que a N aplicado via ureia não sofreu nitrificação. Porém, os maiores teores médios de amônio ocorreram na profundidade de 40 a 60 cm, o que não era esperado devido ao fato do amônio ser um par catiônico com possibilidade de adsorção à CTC do solo, que é maior nas camadas superficiais devido a calagem e matéria orgânica.



**Figura 11** - Teor de amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função da profundidade de solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Todavia, a entrada de N mineral via adubação, a mineralização do N dos restos culturais do azevém, o aporte de N via fezes e urina dos animais, o processo de rotação de culturas com a presença de Fabaceae e o efeito de memória do solo, conforme apontam Assmann et al. (2018) e Levinski-Huf (2018), podem ter corroborado para o maior teor de amônio verificado na profundidade de 40 a 60 cm.

Levinski-Huf (2018) também evidenciou elevados teores de amônio (mais de  $40 \text{ mg kg}^{-1}$ ) com a profundidade do solo no tratamento N-Fert. Pastagem e

com o pasto manejado em alta altura, em contrapartida, o maior teor de amônio no tratamento baixa altura do pasto ocorreu na camada de 20 a 40 cm de profundidade (mais de 40 mg kg<sup>-1</sup>). Os resultados evidenciados podem estar atrelados a adubação da pastagem com 200 kg de N ha<sup>-1</sup> e a deposição de fezes e urina pelos animais, potencializando a entrada de N no sistema, bem com sua ciclagem entre a fase pastagem e a fase cultura de grãos.

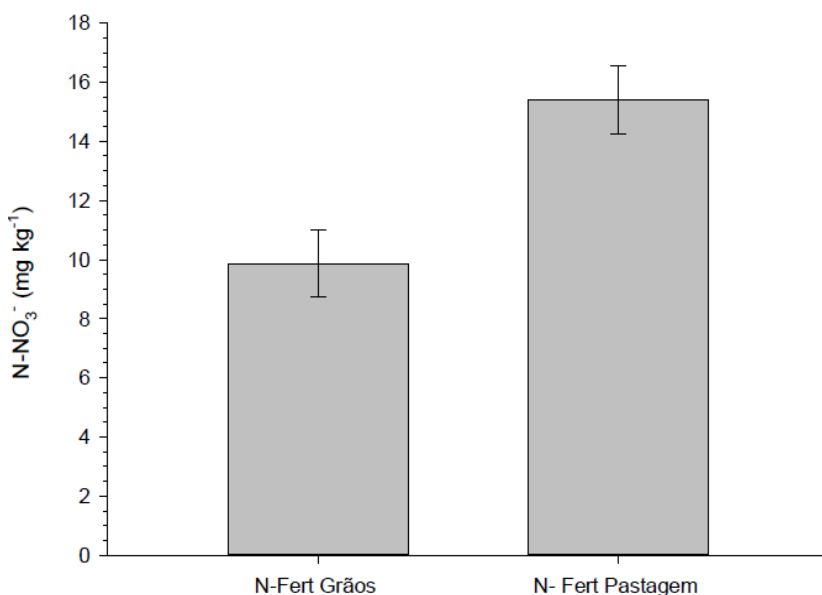
Ao avaliar o comportamento do nitrato no solo não se evidenciou interação entre as causas de variação do experimento, havendo efeito isolado do tempo de adubação de N (P=0,0008), profundidade de solo (P=0,0001) e doses de N (P=0,0036) (Anova - Anexo 8).

Ao avaliar o efeito do tempo de adubação de N sobre o nitrato do solo, evidenciou-se no tratamento N-Fert. Pastagem teor médio de 15,41 mg kg<sup>-1</sup> de solo, já no tratamento N-Fert. Grãos o teor médio foi de 9,87 mg kg<sup>-1</sup> de solo (Figura 12). O maior teor de nitrato no solo no tratamento N-Fert. Pastagem indica que pastagem adubada e manejada adequadamente produz resíduos de melhor qualidade, que ao sofrer decomposição resultam em mineralização do N em amônio, que com o passar do tempo é oxidado a nitrato mediante atividade biológica. Esta constatação corrobora ao fato de que o N aplicado na adubação da pastagem em sistemas de ILP pode ciclar da fase pastagem para a fase cultura de grãos, incrementando o teor de nitrato no solo e contribuindo para a nutrição nitrogenada do feijoeiro, indicando que as perdas de N nesse sistema são menores.

Levinski-Huf (2018) ao avaliar o tempo de adubação de N, altura de pasto e doses de N na cultura do feijão das secas, após pastagem de azevém, em um sistema de ILP, evidenciou maior teor de nitrato no solo no tratamento N-Fert. Pastagem manejada em baixa altura, e concluiu que a adubação nitrogenada da pastagem produziu efeito residual do N aplicado 270 dias antes da adubação nitrogenada do feijoeiro, o que reforça a hipótese de que sistemas de ILP com adubação nitrogenada na pastagem e manejo adequado da altura do pasto promovem a ciclagem do N entre a pastagem e a cultura de grãos.

Redução nos teores médios de nitrato com a profundidade do solo foram evidenciados, variando de 19,79 mg kg<sup>-1</sup> para 8,90 mg kg<sup>-1</sup> na camada de 0 a 5 cm e de 40 a 60 cm de profundidade, respectivamente (Figura 13). Este resultado permite afirmar que não houve lixiviação de nitrato no perfil de solo aos 15 dias após a

aplicação da adubação nitrogenada no feijoeiro. O nitrato é um par aniônico e por isso passível de lixiviação, todavia, devido a dinâmica de cargas deste solo, a presença de raízes, palhada, matéria orgânica e atividade biológica, acabam por alterar a dinâmica do nitrato no solo, favorecendo sua manutenção no sistema, principalmente nas camadas superficiais. Em sistemas de ILP as perdas de N por lixiviação de nitrato são reduzidas, pois a dinâmica dos nutrientes é alterada devido a entrada de carbono, presença dos animais e atividade biológica.

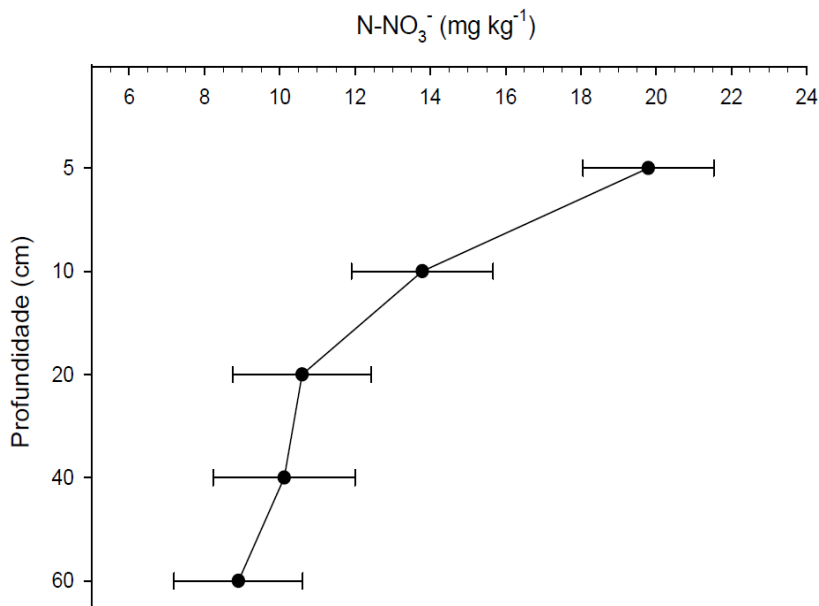


**Figura 12** - Teor de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Bortolli (2016) destaca que em solos muito intemperizados, como o Latossolo deste trabalho, há menor tendência de lixiviação de nitrato devido à presença de cargas positivas nos óxidos de ferro, o que potencializa a retenção do nitrato nas cargas do solo, havendo a possibilidade de imobilização na biomassa microbiana e/ou absorção pelas plantas, potencializando a ciclagem e minimizando as perdas.

Ao avaliar o teor de nitrato em diferentes profundidades de solo em um sistema de ILP, Levinski-Huf (2018) evidenciou maiores teores de nitrato ( $43 \text{ mg kg}^{-1}$ ) na camada de 0 a 5 cm de profundidade quando aplicou  $150 \text{ kg de N ha}^{-1}$  na cultura do feijão das secas, havendo decréscimo no teor com a profundidade do solo. Bortolli (2016) e Levinski-Huf (2018) destacam que essa condição é possível de ocorrer

quando associada a atividade biológica do solo, que é estimulada no período de inverno em sistemas de ILP quando se tem animais em pastejo.



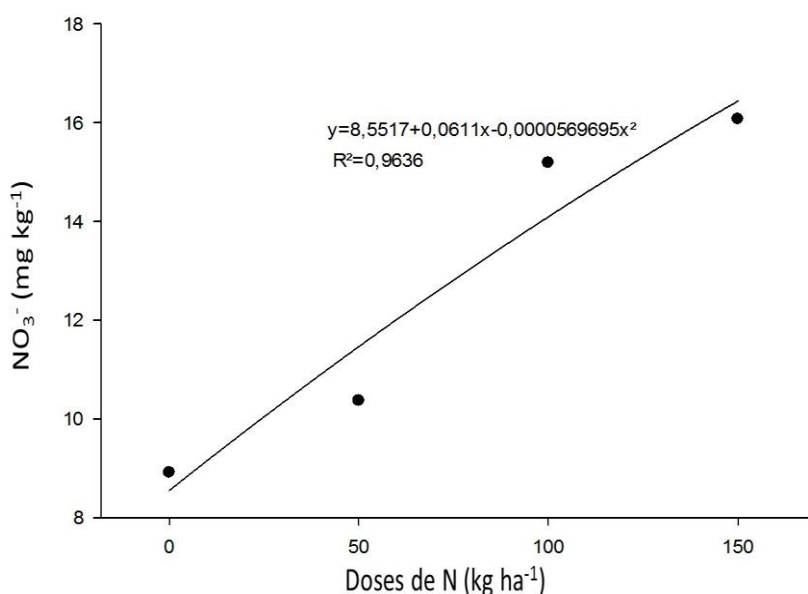
**Figura 13** - Teor de nitrato ( $N-NO_3^-$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função da profundidade de solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Avaliando-se o efeito das doses de N sobre o feijoeiro, evidenciou-se incremento no teor de nitrato no solo com o aumento nas doses de N, variando de 8,92 até 16,07 mg kg<sup>-1</sup> na dose de zero e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Os teores de nitrato no solo não diferiram significativamente entre as doses zero e 50 kg de N ha<sup>-1</sup>, e entre as doses 100 e 150 N ha<sup>-1</sup>. O incremento no teor de nitrato com o aumento das doses de N é esperado, pois há aporte de N via adubação nitrogenada, passando este da forma amídica para amoniacal e posteriormente a forma nítrica, reações mediadas por microrganismos do solo. (Figura 14).

Levinski-Huf (2018) constatou maior teor de nitrato no solo com a aplicação de 150 kg de N ha<sup>-1</sup> na adubação do feijão das secas, associado a adubação nitrogenada da pastagem no inverno, destacando que a maior dose de N promoveu incremento de N no sistema, sendo uma parte disponibilizado para o feijoeiro e outra imobilizada na biomassa microbiana, o que corrobora aos resultados deste trabalho.

Ao avaliar o teor de nitrato no solo em função das variáveis do experimento, pode-se destacar que os maiores teores ocorreram no tratamento N-Fert. Pastagem, o que pode indicar aporte de N advindo da adubação da pastagem,

havendo ciclagem do N entre as diferentes fases do sistema, contribuindo para a nutrição do feijoeiro. Também, o maior teor de nitrato no solo com o pasto manejado em baixa altura indica que a presença dos animais e a deposição de fezes e urina reforçam a tendência da ciclagem do N entre a fase pastagem e a fase cultura de grãos, e que esta dinâmica pode contribuir sobremaneira para ajustes no manejo da adubação nitrogenada em culturas de grãos quando em sistemas de ILP.



**Figura 14** - Teor de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função das doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Assmann et al. (2018) destacam que os microrganismos do solo têm papel preponderante em sistema de ILP, pois atuam na imobilização temporária e mineralização do N, o que promove ciclagem com possibilidade de redução das perdas. Levinski-Huf (2018) afirma que os microrganismos do solo são importantes na liberação rápida de nutrientes a partir da mineralização dos restos culturais, bem como pela lise microbiana. Kunrath et al. (2015) destacam que em sistema de ILP as perdas de nutrientes, inclusive os considerados móveis no solo, são reduzidas, o que se deve a rotação de culturas, pousio zero e a presença dos animais em pastejo.

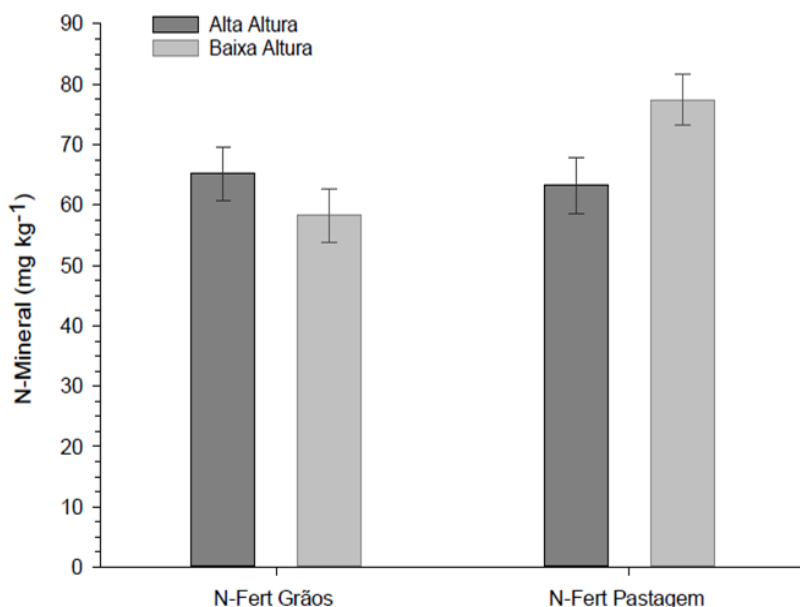
Cabe salientar que os teores de amônio no solo avaliado aos 15 dias da adubação nitrogenada no feijoeiro foram superiores aos de nitrato, o que permite afirmar que o processo de nitrificação ainda está na fase inicial, o que pode estar atrelado a condição climática, com menor precipitação na época e redução da

atividade biológica, além do fato que a decomposição dos restos culturais do azevém esteja na fase inicial, fatores que podem ter corroborado ao maior teor de amônio em relação ao nitrato, tanto em superfície como em profundidade.

Com relação ao teor de N mineral no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada do feijoeiro, evidenciou-se interação dupla do tempo de adubação de N e altura do pasto ( $P=0,0180$ ), altura do pasto e doses de N ( $P=0,0131$ ). Já a profundidade de solo apresentou efeito isolado sobre o teor de N mineral (Anova - Anexo 9).

Aos 15 dias após a adubação nitrogenada no feijoeiro foi constatado incremento no teor médio de N mineral do solo quando o pasto foi manejado em baixa altura do tratamento N-Fert. Grãos ( $58,25 \text{ mg kg}^{-1}$ ) para N-Fert. Pastagem ( $77,41 \text{ mg kg}^{-1}$ ), porém sem diferença significativa entre o pasto manejado em alta altura no tratamento N-Fert. Grãos ( $65,23 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e N-Fert. Pastagem ( $63,19 \text{ mg kg}^{-1}$ ), o que pode ser evidenciado na Figura 15.

O resultado supracitado reforça a hipótese de que o N aplicado na pastagem cultivada no inverno e mantida em baixa altura é ciclado da fase pastagem para a fase cultura de grãos, com aumento nos teores de N mineral no solo, corroborando as constatações de Assmann et al. (2003), Assmann et al. (2018), Bortolli (2016), Levinski-Huf (2018) e Maccari (2016).

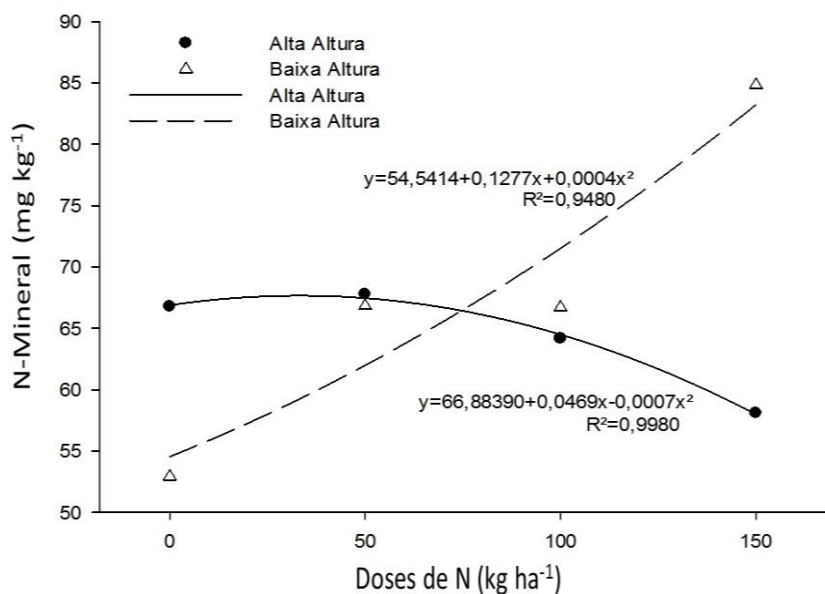


**Figura 15** - Teor de N mineral ( $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.



Cabe destacar que os teores médios de N mineral no solo no tratamento N-Fert. Grãos, independente da altura do pasto, e no tratamento N-Fert. Pastagem com o pasto em alta altura foram semelhantes, porém inferiores ao tratamento N-Fert. Pastagem com o pasto em baixa altura. A adubação da pastagem e a manutenção desta em baixa altura resulta em maior teor de N mineral no solo, o que está atrelado a adubação da pastagem e ao aporte de fezes e urina pelos animais, o que resulta na entrada de carbono e N no sistema, estimulando a atividade biológica e a ciclagem do N, que pode ser constatado na cultura subsequente, sendo este um efeito importante do sistema.

Avaliando a interação da altura de pasto e doses de N sobre o teor de N mineral no solo, evidencia-se com o pasto manejado em alta altura teores médios semelhantes e sem diferença significativa, independente da dose de N, sendo o comportamento do N mineral em função da dose representado por uma equação de segundo grau decrescente, todavia, quando o pasto foi manejado em baixa altura verificou-se diferença significativa no teor de N mineral do solo entre a dose zero e as doses 50 e 100 kg de N ha<sup>-1</sup>, e destas com a dose 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, havendo incremento com a dose de N aplicada, podendo ser representada por uma equação de segundo grau crescente (Figura 16).



**Figura 16** - Teor de N mineral (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função da altura de pasto e das doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

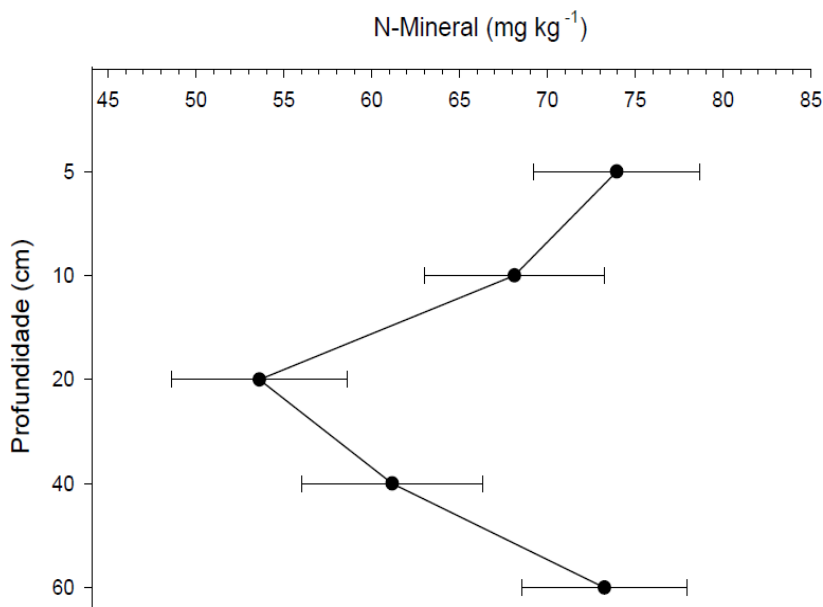
O pasto manejado em baixa altura e o feijoeiro recebendo adubação nitrogenada de 150 kg ha<sup>-1</sup> resultou em maior teor médio de N mineral do solo, o que se deve a adubação nitrogenada e ao aporte de fezes e urina pelos animais. Cabe destacar que o pasto manejado em alta altura e o feijoeiro não recebendo adubação nitrogenada, o teor de N mineral no solo apresentou comportamento semelhante aos tratamentos com doses de N, o que pode estar atrelado ao fato que o azevém recebeu adubação de N, resultando em restos culturais de melhor qualidade que podem ter corroborado ao aumento no teor de N mineral no solo nesta avaliação. Esta constatação reforça os apontamentos de que há ciclagem do N entre as fases de um sistema de ILP quando se aduba a pastagem e esta é mantida em alta altura. Em sistemas de ILP bem manejados quanto a adubação de N, altura de pasto e presença de animais, outras interações e propriedades emergentes acabam por surgir, o que pode alterar a dinâmica do N no sistema solo-planta-animal.

Na Figura 17 pode-se evidenciar o efeito isolado da profundidade de solo sobre o teor de N mineral. Elevados teores de N mineral foram observados nas camadas de 0 a 5; 5 a 10 e 40 a 60 cm de profundidade, 73,94; 68,13 e 73,25 mg kg<sup>-1</sup> de solo, respectivamente, porém, com diferença significativa somente para a camada de 10 a 20 cm de profundidade. Os elevados teores de N mineral estão atrelados, principalmente, aos maiores teores de amônio verificado no solo em relação ao nitrato.

Maiores teores de N mineral na camada de 0 a 5 e 5 a 10 cm de profundidade são esperados em função da adubação nitrogenada, restos culturais do azevém, presença de raízes e atividade biológica (BERNARDON, 2016; MACCARI, 2016; LEVINSKI-HUF, 2018), todavia, elevados teores de N mineral em maiores profundidades não são esperados, o que pode indicar que em sistemas de ILP, devido a presença do componente animal, entrada de C e N e atividade biológica, processos relacionados ao ciclo do N no solo sejam alterados, contribuindo para manter o N ciclando entre as fases do sistema bem como aumentando sua disponibilidade em profundidade, o que remete na importância do pousio zero, de haver sempre plantas crescendo sobre o solo para a absorção do N, maximizando seu uso e ciclagem.

Assmann (2001), Assmann et al. (2018) e Soares et al. (2018) destacam que a presença dos animais em pastejo no inverno promovem a deposição de fezes e urina, o que maximiza a entrada de C e N no sistema, bem como a atividade biológica e a ciclagem dos nutrientes, inclusive em profundidade. O pastejo resulta no

consumo da parte aérea das plantas, o que estimula o crescimento radicular na busca por água e nutrientes visando a reposição do aparato fotossintético, o que potencializa a absorção e ciclagem dos nutrientes, e, após o ciclo de cultivo, as raízes podem ser decompostas, corroborado ao aumento no teor de nutrientes ao longo do perfil de solo.



**Figura 17** - Teor de N mineral ( $N-NH_4^+ + N-NO_3^-$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro na safra 2016/2017 em função da profundidade do solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

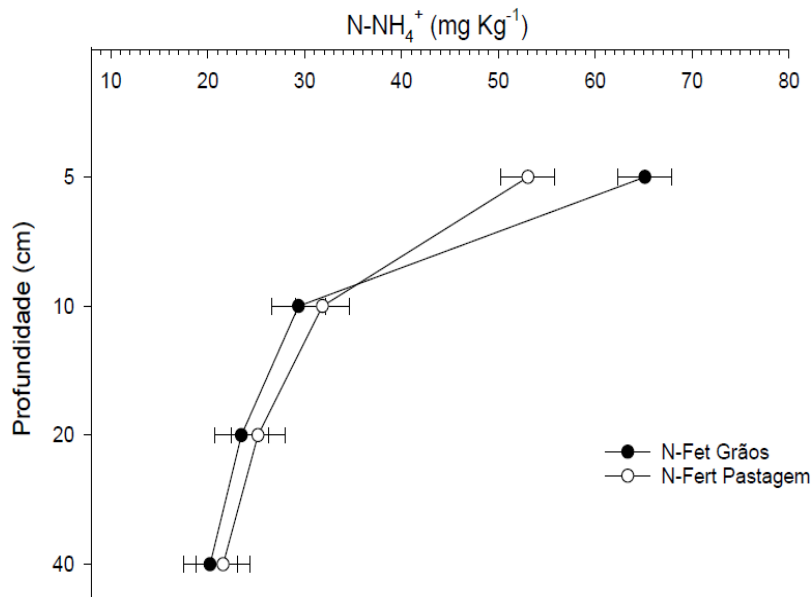
#### 4.1.4 Avaliação realizada na colheita do feijoeiro na safra 2016/2017

Na avaliação do teor de amônio no solo em função dos fatores tempo de adubação de N, altura de pasto, doses de N e profundidade de solo, evidenciou-se diferença significativa e interação dupla somente entre o tempo de adubação de N e a profundidade de solo ( $P=0,0286$ ) (Anova - Anexo 10).

O maior teor médio de amônio no solo foi evidenciado na profundidade de 0 a 5 cm, sendo de  $65,14 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo no tratamento N-Fert. Grãos e de  $53,07 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo no tratamento N-Fert. Pastagem, com diferença significativa entre os tempos de adubação de N. Nas maiores profundidades os teores de amônio no solo reduziram significativamente em relação a camada de 0 a 5 cm, porém sem haver diferença significativa entre os Tempos de Adubação de N dentro de cada profundidade de solo (Figura 18).

O maior teor de amônio na camada superficial do solo pode estar

atrelado a presença dos restos culturais do feijoeiro, que é uma leguminosa e apresenta menor relação C/N, o que favorece a decomposição e mineralização do N nas camadas superficiais do solo, além da maior atividade biológica que promove a ciclagem do N. Outro ponto importante que contribui para o maior teor de amônio nas camadas superficiais do solo é porque há matéria orgânica e CTC, o que promove a adsorção deste par catiônico. A redução no teor de amônio com a profundidade do solo é esperada devido ao menor teor de matéria orgânica no solo, atividade biológica e lixiviação. O maior teor de amônio no tratamento N-Fert. Grãos está atrelada a adubação nitrogenada da cultura, corroborando para o aumento no teor de N no solo.



**Figura 18** - Teor de amônio ( $N-NH_4^+$ ) no solo na colheita do feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N e da profundidade de solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Os animais em pastejo promovem alteração no ciclo geoquímico de alguns nutrientes, principalmente pela ciclagem rápida devido ao aporte de fezes e urina, com efeitos direto sobre o N no curto e médio prazo (PIÑEIRO et al., 2006). Os mesmos autores destacam que esses benefícios resultam em incremento no teor de N mineral no solo, com benefícios diretos para as plantas e microrganismos, num processo de ciclagem de N entre a fração orgânica e mineral do solo.

Sistemas de produção que envolvem os componentes pastagem, animal e cultura de grãos, nem sempre apresentam respostas cartesianas, o que está associado a complexidade do sistema e a presença do componente animal, tornando

o sistema diferenciado em relação aos outros que possuem somente plantas de cobertura no inverno e cultura de grãos no verão, mesmo que sigam princípios do plantio direto. O componente animal impacta diretamente sobre a dinâmica química, física e biológica do solo, criando um ambiente diferenciado para a ciclagem do carbono e do N, ora promovendo o acoplamento através da imobilização, ora o desacoplamento através da mineralização (SOUSSANA; LEMAIRE, 2014).

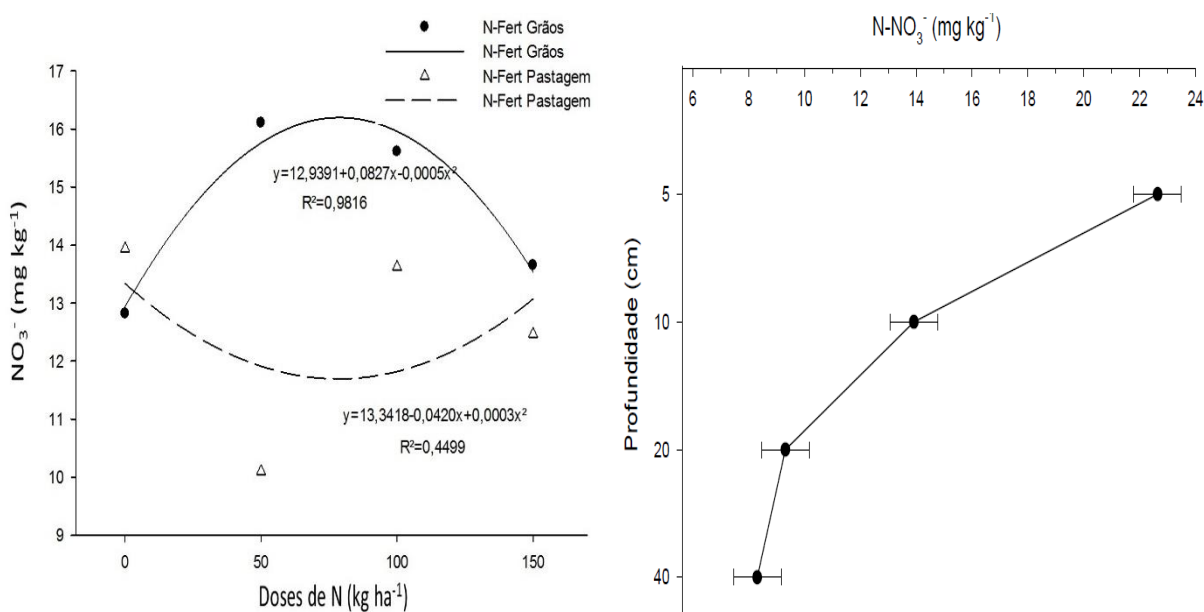
Quando se avalia o teor de nitrato no solo na colheita do feijoeiro, evidencia-se comportamento diferenciado em relação ao amônio, havendo interação dupla entre o tempo de adubação de N e doses de N ( $P=0,0313$ ), além de efeito isolado da profundidade de solo ( $P=0,0000$ ) (Anova - Anexo 11).

No tratamento N-Fert. Grãos os teores médios de nitrato no solo foram de 12,82; 16,11; 15,62 e 13,66  $\text{mg kg}^{-1}$  de solo para as doses zero; 50; 100 e 150  $\text{kg N ha}^{-1}$ , respectivamente, apresentando resposta conforme função quadrática ( $R^2=0,9816$ ). Os maiores teores médios de nitrato no solo neste tratamento ocorreram nas doses 50 e 100  $\text{kg N ha}^{-1}$ , diferindo significativamente somente para a dose zero (Figura 19). Já no tratamento N-Fert. Pastagem os teores médios de nitrato no solo foram de 13,94; 10,11; 13,63 e 12,47  $\text{mg kg}^{-1}$  de solo para as doses zero; 50; 100 e 150  $\text{kg N ha}^{-1}$ , respectivamente, apresentando resposta conforme função quadrática inversa ( $R^2=0,4499$ ), num comportamento atípico e não característico. Neste tratamento os maiores teores médios de nitrato no solo ocorreram nas doses zero; 100 e 150  $\text{kg N ha}^{-1}$ , diferindo significativamente para a dose 50  $\text{kg N ha}^{-1}$  (Figura 19). O menor teor médio de nitrato no solo nesta avaliação ocorreu no tratamento N-Fert. Pastagem na dose 50  $\text{kg N ha}^{-1}$ .

O teor médio de nitrato no solo na dose zero  $\text{kg N ha}^{-1}$  foi superior a dose 50  $\text{kg N ha}^{-1}$  no tratamento N-Fert. Pastagem, todavia, não diferiu dos demais tratamentos, indicando que a adubação da pastagem apresenta efeito residual para a cultura de grãos. Levinski-Huf (2018), Maccari (2016) e Sandini (2009) também destacaram sobre a importante contribuição da adubação nitrogenada da pastagem para a cultura subsequente.

Evidenciou-se efeito isolado da profundidade de solo sobre o teor de nitrato no solo ( $P=0,000$ ). O maior teor médio de nitrato ocorreu na camada de 0 a 5 cm de profundidade (22,64  $\text{mg kg}^{-1}$ ), seguido pela camada de 5 a 10 cm (13,91  $\text{mg kg}^{-1}$ ), com diferença significativa destas para as demais profundidades. Na camada de

10 a 20 e de 20 a 40 cm de profundidade o teor médio de nitrato foi de 9,31 e de 8,31 mg kg<sup>-1</sup> de solo, respectivamente (Figura 23), indicando que após o ciclo do feijoeiro o nitrato residual no solo não apresenta indícios de lixiviação, o que corrobora as informações de Ketterings et al. (2012), os quais afirmam que teores superiores a 25 mg de nitrato kg<sup>-1</sup> de solo indicam potencial de lixiviação.



**Figura 19** - Teor de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no solo na colheita do feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N e das doses de N. Teor de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no solo na colheita do feijoeiro na safra 2016/2017 em função da profundidade de solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

A partir dos resultados evidenciados pode-se afirmar que não está havendo lixiviação de nitrato no solo devido à redução na sua concentração com a profundidade e pelos baixos valores encontrados, o que tem se mostrado normal em experimentos de ILP quando se realiza adubação da pastagem, correto manejo da altura do pasto e adequada taxa de lotação de animais.

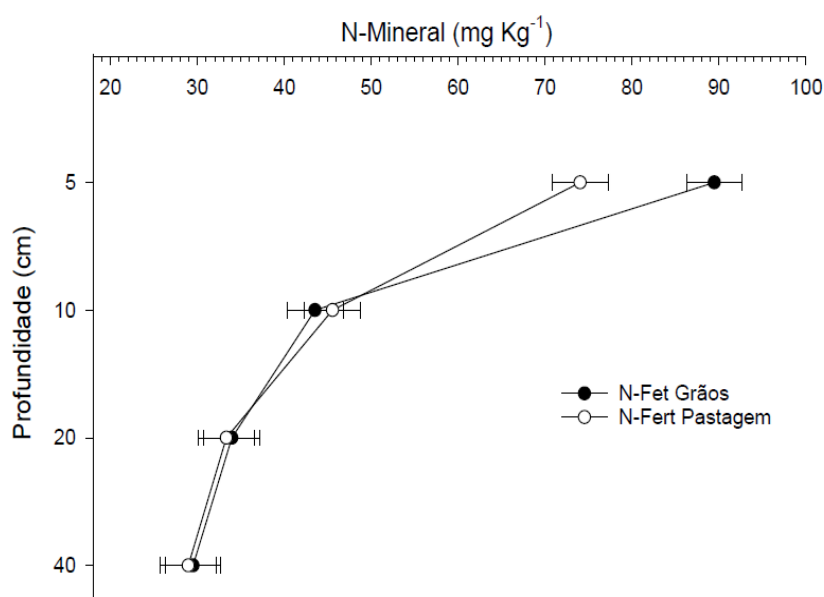
Segundo Levinski-Huf (2018), os sistemas de ILP de longa duração que possuem plantas crescendo sempre, ou seja, pousio zero, que promovem o aporte de resíduos vegetais e há presença de animais, favorecem a entrada de carbono e N, contribuem para maior atividade biológica, potencializam a ciclagem dos nutrientes e corroboram a redução de perdas, fundamentalmente do N.

O N mineral do solo após a colheita do feijoeiro apresentou comportamento semelhante ao amônio, com diferença significativa e interação dupla (Anova - Anexo 12) entre o tempo de adubação de N e profundidade de solo

( $P=0,0307$ ). Evidencia-se elevados teores de N mineral no solo na camada de 0 a 5 cm de profundidade, com diferença significativa entre os tempos de adubação de N, todavia, ao longo do perfil de solo há redução no teor de N mineral e ausência de diferença entre os tempos de adubação de N (Figura 20).

No tratamento N-Fert. Grãos evidencia-se variação nos teores médios de N mineral de 89,46; 43,52; 33,96 e 29,50  $\text{mg kg}^{-1}$  nas profundidades de 0 a 5; 5 a 10; 10 a 20 e 20 a 40 cm, respectivamente, já no tratamento N-Fert. Pastagem os teores médios de N mineral observados foram de 74,03; 45,53; 33,32 e 28,95  $\text{mg kg}^{-1}$  nas profundidades de 0 a 5; 5 a 10; 10 a 20 e 20 a 40 cm, respectivamente (Figura 20).

O maior teor médio de N mineral na camada de 0 a 5 cm de profundidade no tratamento N-Fert. Grãos está atrelado a adubação nitrogenada em cobertura do feijoeiro, que aportou N ao solo, todavia, nas camadas mais profundas evidencia-se teores muito semelhantes entre os tempos de adubação de N, o que pode estar associado ao aporte de restos culturais e a presença dos animais sob pastejo, o que contribui para potencializar a atividade biológica e o processo de mineralização e imobilização do N, com ciclagem entre as fases do sistema. Comportamento semelhante no teor de N do solo foi evidenciado por Levinski-Huf (2018).



**Figura 20** - Teor de N-mineral ( $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ ) no solo na colheita do feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N e da profundidade de solo. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Bortolli (2016) evidenciou menores teores de N mineral com a profundidade do solo, afirmando que em sistemas de ILP não há lixiviação de N, já Lima (2018) constatou aos 15 dias da aplicação superficial de ureia no feijoeiro em um sistema de ILP perdas de N por volatilização da amônia da ordem de 5,37%, o que corrobora aos resultados evidenciados no presente trabalho, de que se as perdas de N por lixiviação de nitrato e volatilização de amônia são baixas, indicando que o N permanece no sistema, seja adsorvido à CTC, imobilizado na biomassa microbiana ou nos restos culturais.

Os maiores teores de N mineral na camada superficial do solo indicam que além do N adicionado via fertilizante, há mineralização dos resíduos do feijoeiro, principalmente folhas que apresentam baixa relação C/N. Outro aspecto importante é que na camada de 0 a 5 cm o teor médio de nitrato no solo foi de 22,64 mg kg<sup>-1</sup> e o teor médio de amônio de 65,14 mg kg<sup>-1</sup>, reforçando a hipótese de que o N está na forma amoniacal, o que é relevante para a redução das perdas de N por lixiviação na forma de nitrato. Devido ao elevado teor de N mineral na camada superficial do solo, é fundamental sempre haver plantas crescendo sobre o solo visando a absorção do N, corroborando para ciclagem e redução das perdas.

A partir dos resultados evidenciados pode-se destacar que o N aplicado via fertilizante mineral nitrogenado é amonificado e/ou nitrificado no solo, absorvido pela pastagem que é consumida pelos animais, os quais promovem o retorno do N via fezes e urina e restos culturais, com possibilidade de mineralização do N e nova absorção pela pastagem ou imobilização na biomassa microbiana. Posteriormente, este pode ser novamente mineralizado e com isso absorvido pela cultura de grãos subsequente, o que confirma a hipótese de que há ciclagem do N entre as fases de um sistema de ILP e de que a adubação das culturas pode ser alterada em função da presença do componente animal, aporte de resíduos e atividade biológica.

## 4.2 ESTADO NUTRICIONAL DO FEIJOEIRO

### 4.2.1 Teor de nitrogênio no feijoeiro

O teor de N no feijoeiro apresentou redução como o passar do ciclo da cultura devido ao aumento da MS acumulada, efeito denominado de diluição (Figura



21), comportamento esperado para as plantas e que corrobora aos apontamentos de Lemaire e Salette (1984), Lemaire (1997), Ziadi et al. (2008) e Bélanger et al. (2016). Destacam também que as plantas apresentam, em condição adequada de fatores de produção, crescimento e desenvolvimento com o passar do ciclo de cultivo, havendo acúmulo de MS e nutrientes, todavia, há maior produção de MS em relação a quantidade de nutrientes absorvidos, além da produção de tecidos estruturantes, o que resulta na diluição dos nutrientes na planta.

Bernardon (2016), Levinski-Huf (2018) e Maccari (2016) avaliando o teor de N em sistemas de ILP evidenciaram que ao longo do ciclo de cultivo do consórcio azevém mais aveia, feijão das secas e milho, respectivamente, houve incremento na MS produzida pelas plantas e redução no teor de N, caracterizando o efeito de diluição.

Para a discussão do teor de N na parte aérea das plantas de feijoeiro optou-se por apresentar as interações deste com os fatores dias após a semeadura (DAS), tempo de adubação de N e doses N, excetuando-se o fator altura de pasto devido a menor influência sobre os resultados observados.

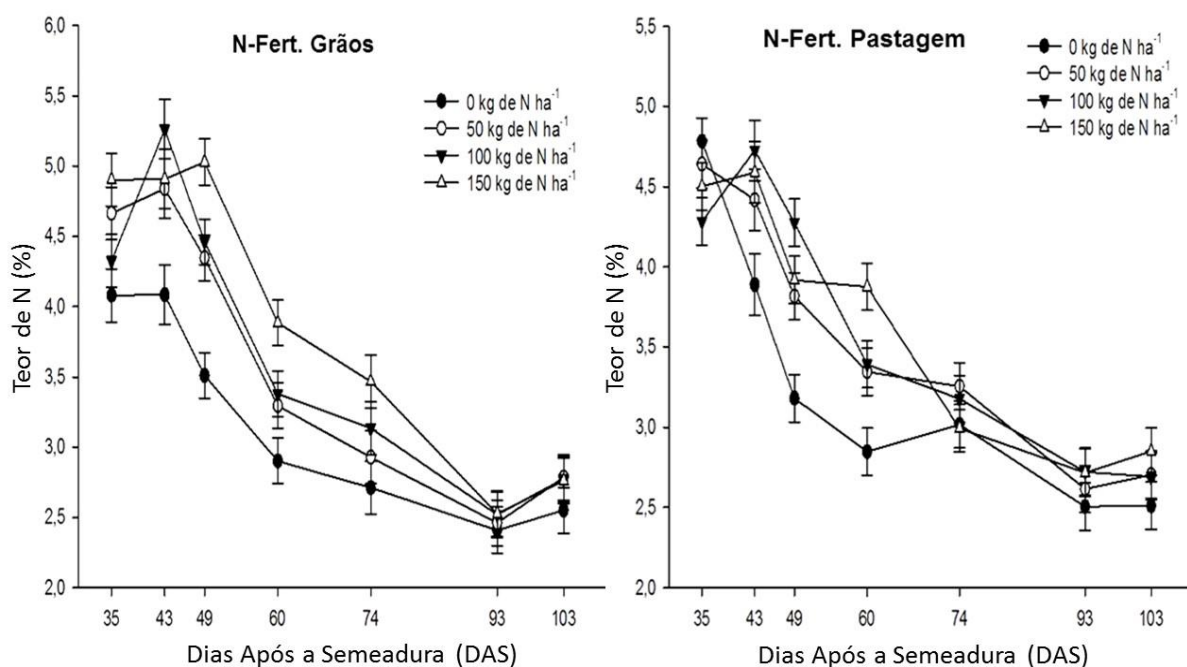
Evidenciou-se diferença significativa e interação tripla entre dias após a semeadura, tempo de adubação de N e doses N sobre o teor de N da parte aérea das plantas de feijoeiro ( $P=0,0010$ ). Em função disso, efetuou-se o desdobramento da interação fazendo-se o isolamento do fator tempo de adubação de N, discutindo-se de forma isolada os tratamentos N-Fert. Grãos e N-Fert. Pastagem (Anova - Anexo 13).

Ao isolar o tratamento N-Fert. Grãos evidenciou-se efeito significativo e interação dupla (Anova - Anexo 14) entre dias após a semeadura e doses de N sobre o teor de N no feijoeiro ( $P=0,0084$ ). De maneira geral, o maior teor médio de N nas plantas ocorreu aos 43 DAS (4,77%), já o menor teor médio ocorreu aos 93 DAS (2,47%), apresentando teor médio de N ao longo do ciclo de cultivo de 3,60% (Figura 21).

No tratamento N-Fert. Grãos evidenciou-se que os maiores teores médios de N nas plantas ocorreram aos 35 e 43 DAS para todas as doses de N, reduzindo aos 49; 60; 74; 93 e 103 DAS, o que demonstra o efeito de diluição do N na planta. Cabe salientar que o menor teor de N ocorreu na dose zero kg de N ha<sup>-1</sup>, com valores significativamente inferiores aos dos tratamentos em que se aplicou N aos 43; 49 e 60 DAS, já aos 35; 74; 93 e 103 DAS não houve diferença significativa entre as

doses de N.

Evidencia-se que a ausência da adubação nitrogenada no feijoeiro resulta em menor teor de N no início do desenvolvimento da cultura, o que pode comprometer a definição dos componentes do rendimento, tais como número de ramos por planta e número de vagens por ramo, todavia, a partir dos 60 DAS os teores de N se aproximaram aos dos tratamentos que receberam adubação nitrogenada, indicando que em sistemas de ILP há possibilidade da planta recuperar o teor de N e com isso promover aporte no momento da definição do número de grãos por vagem e enchimento de grãos.



**Figura 21** - Desdobramento da interação tripla dos DAS, tempo de adubação de N e doses de N sobre o teor de N no feijoeiro na safra 2016/2017. Teor de N nos tratamentos N-Fert. Grãos e N-Fert. Pastagem em função dos dias após a semeadura (DAS) e doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Quando da aplicação de 150 kg de N ha<sup>-1</sup> o feijoeiro apresentou maior teor de N em relação as demais doses somente nas avaliações aos 49 e 60 DAS, não havendo diferença significativa nos demais DAS. Essa constatação pode estar atrelada ao fato que a adubação nitrogenada do feijoeiro proporcionou N mineral disponível às plantas, maximizando a absorção de N e, conseqüentemente, aumentando o teor na parte aérea. Todavia, aos 93 e 103 DAS evidenciou-se ausência de diferença significativa no teor de N das plantas em função das doses de N, o que

está atrelado ao aumento no teor de N mineral no solo, que pode ter ocorrido em função da adubação nitrogenada do feijoeiro e/ou mineralização do N dos restos culturais da pastagem de azevém e das fezes dos animais. No presente trabalho não se evidenciou efeito isolado das doses de N sobre o N mineral do solo no dia da colheita do feijoeiro, o que corrobora a não diferença entre os teores de N na planta.

Em função disso, evidencia-se que o fator memória do solo descrito por Assmann et al. (2018) e Levinski-Huf (2018) pode estar influenciando o teor de N mineral, ou seja, o experimento que vem sendo mantido sob ILP desde meados de 2012 resultou em melhorias no ambiente químico, físico e biológico do solo, potencializando a ciclagem de nutrientes entre as fases do sistema, e mesmo o feijoeiro não recebendo adubação nitrogenada, o pastejo do azevém pelos animais e a deposição de fezes e urina promoveu melhor condição nutricional de N no solo. No tratamento N-Fert. Grãos a adubação nitrogenada foi realizada somente no feijoeiro, exceto na dose zero, porém houve ininterrupto pastejo durante 126 dias, o que propiciou deposição de fezes e urina pelos animais, o que podem ter contribuído com a atividade biológica do solo, promovendo a ciclagem do N, liberando-o às plantas mesmo na parcela sem adubação nitrogenada. Em função disso, pode-se afirmar que há ciclagem de N da fase pastagem para a fase cultura de grãos em sistemas de ILP.

Ao isolar o tratamento N-Fert. Pastagem, evidenciou-se efeito significativo e interação dupla (Anova - Anexo 15) entre dias após a semeadura (DAS) e doses de N sobre o teor de N nas plantas ( $P=0,0016$ ). Neste tratamento foi observado que os maiores teores de N nas plantas ocorreram aos 35 e 43 DAS para todas as doses de N, reduzindo nas avaliações posteriores. Essa constatação corrobora ao observado no tratamento N-Fert. Grãos sobre o efeito de diluição do N na planta. Na dose zero kg de N ha<sup>-1</sup> houve diferença significativa em relação as parcelas onde se aplicou N somente aos 43; 49 e 60 DAS, nas demais avaliações não houve diferença significativa. Avaliando a maior dose de N aplicada no feijoeiro (150 kg de N ha<sup>-1</sup>), verifica-se que teor de N nas plantas foi significativamente superior as demais doses de N somente aos 60 DAS, não havendo diferença nas demais avaliações (Figura 21).

O feijoeiro, por ser uma planta da família das Fabaceae (Leguminosas), realiza fixação biológica de nitrogênio (FBN) mediante associação com bactérias do gênero *Rhizobium* que estão presentes no solo, o que permite a planta obter N de

uma fonte diferente da ureia e matéria orgânica do solo, o que pode ter resultado em plantas melhor nutridas em N. Segundo Jeuffroy e Ney (1997), o feijoeiro tem a possibilidade de modificar o padrão de absorção, e, conseqüentemente, de diluição do N na planta devido ao crescimento das vagens e grãos, o que leva a planta a alocar maior concentração de N após a floração, o que também foi destacado por Levinski-Huf (2018).

Levinski-Huf (2018) ao avaliar o efeito da adubação nitrogenada na pastagem de azevém no inverno e na cultura de feijão das secas no verão destacou o efeito positivo da adubação de sistemas em ILP, havendo transferência do N da fase pastagem para a fase cultura de grãos. Destaca também que a presença dos animais e o pastejo durante o inverno alteram a dinâmica da atividade biológica, bem como a ciclagem nos nutrientes, pois há aporte de C e N via fezes e urina, potencializando o efeito de memória do solo, também enfatizado por Assmann et al. (2018), o que altera a dinâmica dos nutrientes, a atividade biológica e o processo de mineralização e imobilização do N.

O maior teor de N no início do crescimento das plantas está atrelado ao fato da formação da planta, com grande absorção de nutrientes e produção de folhas, na sequência a planta produz mais tecidos estruturantes, com menor teor de N, promovendo o efeito de diluição durante o desenvolvimento da cultura (LEMAIRE, 1997; BELANGER et al., 2015).

A precipitação durante o ciclo de desenvolvimento do feijoeiro foi abaixo da média da região, que associado ao sistema de ILP adotado, resultou em menores perdas de N, o que é confirmado pelo elevado teor de N mineral no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada e na colheita do feijoeiro. Da mesma forma, Lima (2018) evidenciou baixa perda de N por volatilização da amônia, 5,37% em relação ao N aplicado, portanto, houve um ambiente desfavorável as perdas e que resultou em maior disponibilidade de N às plantas e microrganismos. Os microrganismos são protagonistas da ciclagem de nutrientes entre as fases pastagem e cultura de grãos, e quando promovem mineralização cadenciada do N, corroboram a nutrição nitrogenada das plantas, pois há N disponível no solo de acordo à cinética de absorção pela planta.

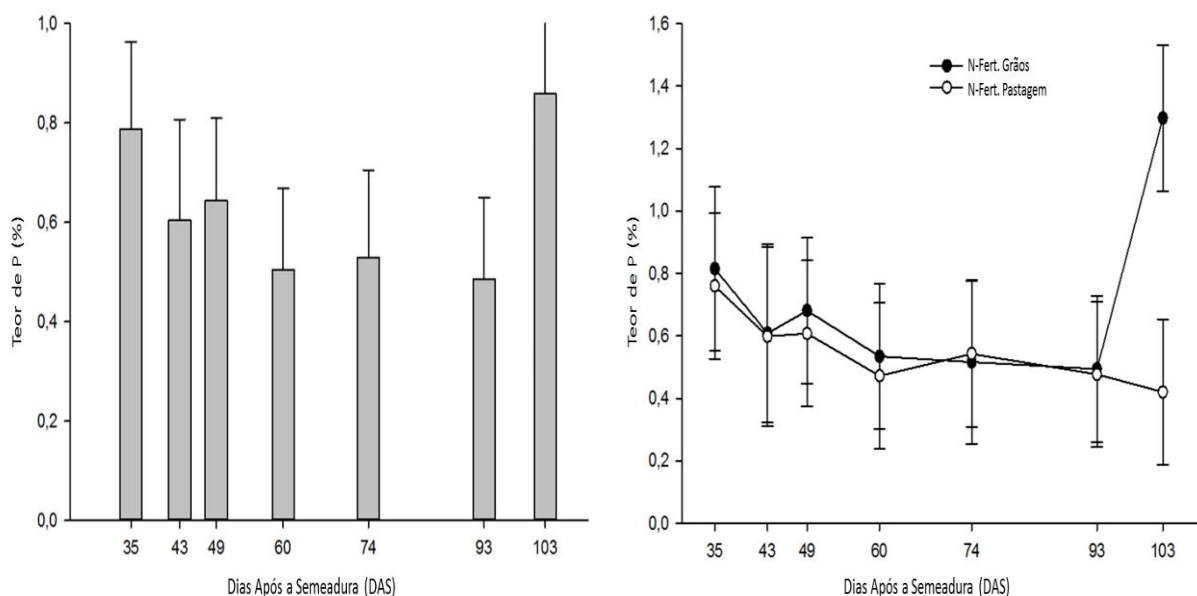
De maneira geral, evidencia-se que a diluição de N nas plantas de feijoeiro segue o padrão preconizado por diversos autores conforme supracitado,

todavia, houve diferença significativa no teor de N no feijoeiro em função do tempo de adubação de N somente aos 43; 49 e 60 DAS, com maiores valores no tratamento N-Fert. Grãos, já nas demais avaliações não foi verificado diferença significativa.

#### 4.2.2 Teor de fósforo no feijoeiro

Ao avaliar o teor de P no feijoeiro não se evidenciou diferença significativa e nem interação (Anova - Anexo 16) entre as variáveis analisadas. De maneira geral, o maior teor médio de P nas plantas ocorreu aos 103 DAS (0,86%), já o menor teor médio ocorreu aos 60 DAS (0,50%), havendo um teor médio em função dos tratamentos e ao longo do ciclo de cultivo de 0,63% (Figura 22).

Apesar de não haver diferença significativa e interação entre as causas de variação sobre o teor de P no feijoeiro, cabe destacar que o maior teor médio ocorreu no tratamento N-Fert. Grãos em relação ao N-Fert. Pastagem (Figura 22).



**Figura 22** - Teor de P (%) no feijoeiro na safra 2016/2017 em função dos dias após a semeadura (DAS). Teor de P (%) no feijoeiro na safra 2016/2017 em função dos dias após a semeadura (DAS) e do tempo de adubação de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Mesmo apresentando forte relação entre os teores de N e P em plantas, Bélanger et al. (2016) destacam que isso não é constante durante o ciclo da cultura. Greenwood et al. (2008) ao discutir a relação entre o teor de N e P em função da quantidade de MS acumulada evidenciaram que o efeito de diluição dos nutrientes em

plantas existe e que a relação entre N e P diminui devido ao crescimento da cultura que promove mudanças na proporção relativa de tecidos, principalmente o aumento de tecidos estruturantes. Os autores destacam que a redução da relação N e P em plantas implica em maior efeito de diluição do N do que do P.

Ziadi et al. (2007) ao avaliar a relação entre a concentração de N e P no milho destacam que há uma importante relação entre o teor de N e de P em plantas, que são mais assertivas quando as plantas estão bem nutridas em N, propondo que essa condição ocorra quando o índice nutricional nitrogenado (INN) é maior que 80%. Destacam que uma relação ótima de N e P em plantas depende do estágio de desenvolvimento da cultura, bem como do nível de nutrição da planta. Plénet e Lemaire (2000) e Ziadi et al. (2007) destacam que ao identificar deficiência de P nas plantas, aplicações posteriores de fertilizantes fosfatados não remediam a deficiência, todavia, a avaliação do teor de P na planta e do índice nutricional fosfatado permite ajustar a adubação fosfatada nos cultivos subsequentes.

De modo geral, o teor de P no feijoeiro foi semelhante em todas as avaliações realizadas, entretanto, como há redução no teor de N em função do aumento da MS acumulada, teor de P manteve-se aproximadamente constante, indicando que a relação N/P diminui do início para o final do ciclo do feijoeiro, corroborando as afirmações de Greenwood et al. (2008) sobre o estreitamento da relação N/P.

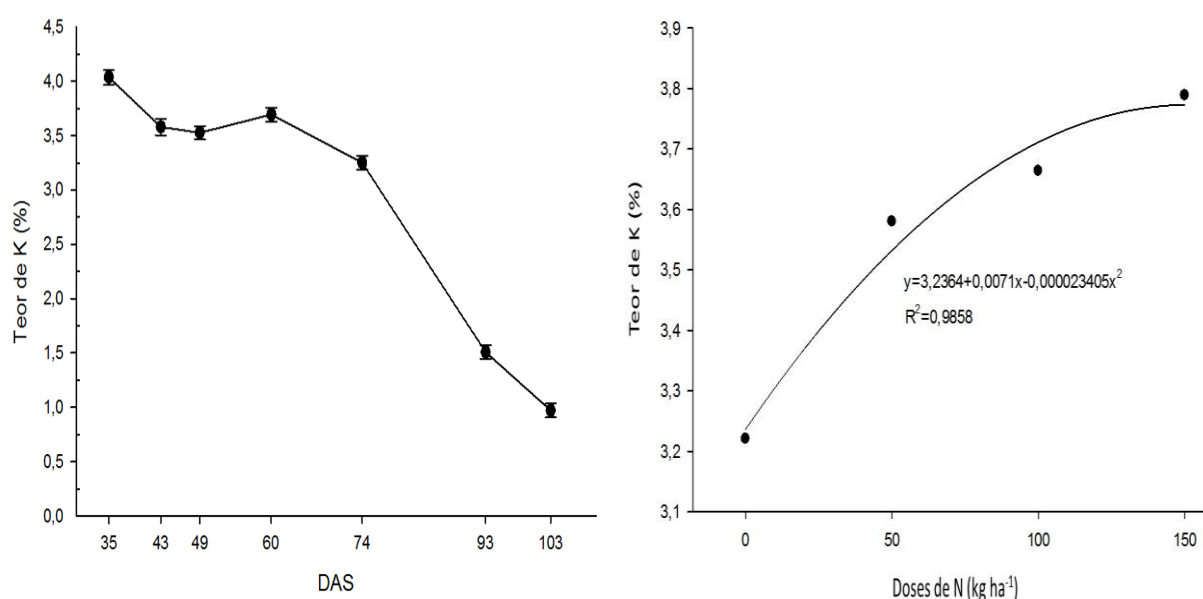
#### 4.2.3 Teor de potássio no feijoeiro

Com relação ao teor de K da parte aérea do feijoeiro, evidenciou-se diferença significativa e efeito isolado (Anova - Anexo 17) dos dias após a semeadura (DAS) ( $P=0,0000$ ) e das doses de N ( $P=0,0001$ ). De maneira geral, o maior teor médio de K nas plantas ocorreu aos 35 DAS (4,04%), já o menor teor médio aos 103 DAS (0,97%), havendo um teor médio ao longo do ciclo de cultivo de 2,94% (Figura 23).

O teor de K reduziu com os DAS, havendo, assim como no N, efeito de diluição, portanto, ambos nutrientes apresentam comportamento semelhante na planta em função do acúmulo de MS com o passar do ciclo de cultivo. Os teores de K nas plantas foram mantidos elevados aos 35; 43; 49; 60 e 74 DAS, com redução aos 93 e 103 DAS, caracterizando o efeito de diluição, porém, mais acentuada ao final do

ciclo de cultivo.

O K é um nutriente que não está ligado diretamente a compostos orgânicos no interior da planta, atuando decisivamente sobre o potencial osmótico estomático e na estruturação da planta, fundamentalmente na resistência de colmo (TAIZ; ZEIGER, 2013), em função disso, quando a planta entra na fase final do ciclo o K é carregado pela água da chuva, também, a planta entra em senescência e as folhas caem, o que contribui para redução no teor de K da planta, acentuando o efeito de diluição.



**Figura 23** - Teor de K (%) no feijoeiro na safra 2016/2017 em função dos dias após a semeadura (DAS). Teor de K (%) no feijoeiro na safra 2016/2017 em função das doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Greenwood e Stone (1998) aplicaram um modelo para avaliar o teor crítico de K e o efeito de diluição em plantas sob a hipótese de que a concentração decresce com o aumento da biomassa das culturas, mantendo uma proporcionalidade à concentração crítica de N, confirmando que realmente há efeito de diluição do K, cujo comportamento é semelhante ao N%. Dibb e Thompson Júnior (1985) destacam que a absorção de K pelas plantas depende do nível de nutrição nitrogenada, o que demonstra a importante interação entre o N e K na planta.

O teor de K no feijoeiro apresentou diferença significativa entre o tratamento zero kg de N ha<sup>-1</sup> e os tratamentos em que se aplicou adubação nitrogenada. O menor teor de K ocorreu na dose zero kg de N ha<sup>-1</sup>, aumentando nas doses 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, todavia, nestas sem apresentar diferença

significativa (Figura 23). O teor de K no feijoeiro em função das doses de N apresenta comportamento semelhante ao do N, com o incremento no teor de K nas plantas com as doses de N.

Viana (2007) ao avaliar a interação entre doses de N e de K na nutrição do trigo, evidenciou que à medida em que se aumenta as doses de adubação nitrogenada, há incremento no teor de K nas espigas do trigo. Concluiu que as maiores doses de N foram responsáveis pelo maior teor de K nas espigas, o que se deve possivelmente, ao melhor balanço nutricional pelo fornecimento de N às plantas. Duru e Huché-Thelier (1997) destacam que há uma importante correlação entre o teor de N e de K nas plantas, e que à medida em que o teor de N na MS aumenta, o teor de K também, mas o efeito de diluição ocorre para ambos nutrientes, com altos teores no início do ciclo de cultivo e posterior redução, num efeito de diluição.

Desta forma, ao avaliar os teores de N e K no feijoeiro, salienta-se efeito acentuado de diluição ao longo do ciclo da cultura, o que corrobora as constatações de Bélanger et al. (2016), Duru e Théliier-Huché (1997), Lemaire e Salette (1984), Lemaire (1997), Ziadi et al. (2008), Maccari (2016), Levinski-Huf (2018), porém, os teores de P não apresentam o mesmo efeito de diluição na planta, o que resulta em redução da relação N/P ao longo do ciclo de cultivo, o que comprova os trabalhos de Bélanger et al. (2016), Greenwood et al. (2008) e Ziadi et al. (2007).

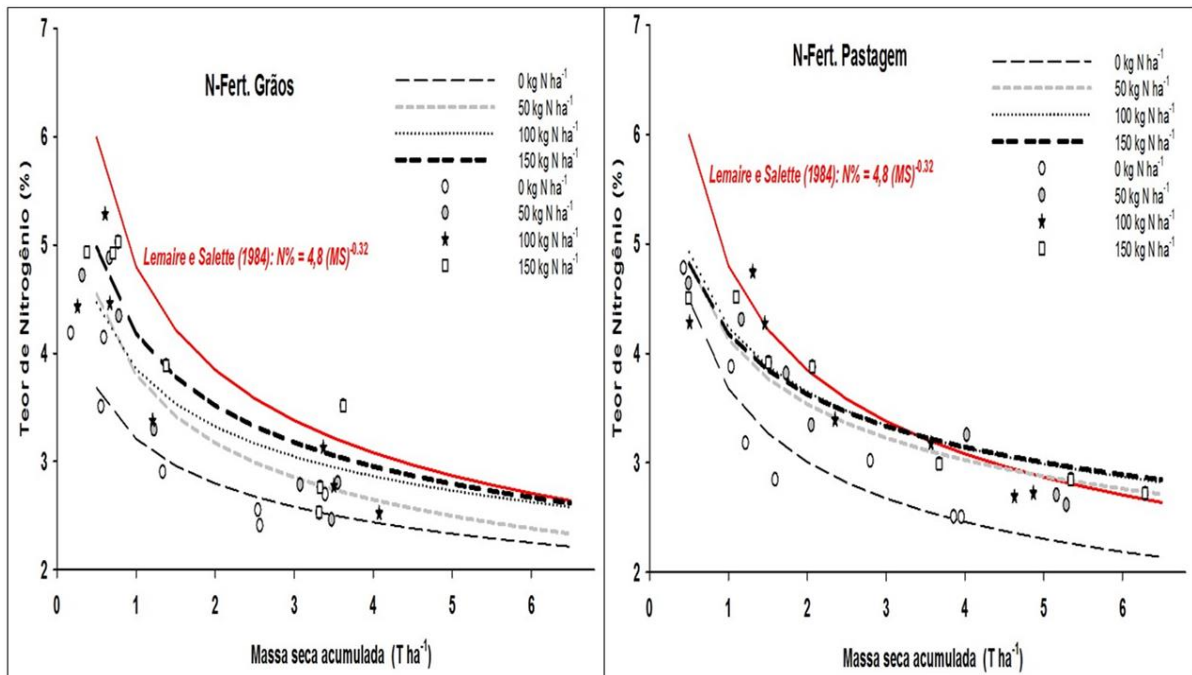
#### 4.2.4 Curva de diluição do nitrogênio no feijoeiro

O teor de N na parte aérea das plantas de feijoeiro reduziu durante o ciclo da cultura com o acúmulo de MS, num efeito de diluição do N (LEMAIRE; SALETTE, 1984). Devido ao efeito significativo e interação tripla dos dias após a semeadura (DAS), tempo de adubação de N e doses de N sobre o teor de N da parte aérea do feijoeiro, isolou-se o fator tempo de adubação de N (N-Fert. Grãos e N-Fert. Pastagem) a fim de produzir curvas de diluição do N em função das doses de N (0; 50; 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>) e da MS acumulada.

Ao confrontar a curva de diluição de N proposta por Lemaire e Salette (1984) para espécies de plantas C3 com as curvas de diluição geradas em cada dose de N para a cultura do feijoeiro (Figura 24), notou-se que todas as quatro doses de N aplicadas no tratamento N-Fert. Grãos resultaram em teor de N abaixo da curva crítica.



Neste tratamento, conforme a Figura 30 e o modelo proposto, somente as doses de 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup> e produção acumulada de MS de 6 Mg ha<sup>-1</sup> é resultariam em teor crítico de N próximo ao estabelecido pelo modelo de Lemaire e Salette (1984). Nas demais doses N os teores de N na parte aérea das plantas ficaram aquém do proposto pelo modelo, indicando insuficiente estado nutricional nitrogenado da cultura.



**Figura 24** - Desdobramento da interação tripla entre os dias após a semeadura (DAS), tempo de adubação de N e doses de N sobre o teor de N da parte aérea do feijoeiro na safra 2016/2017 em relação a MS acumulada, comparada com a curva de diluição de N para plantas C3, N% = 4,8 (MS)<sup>-0,32</sup>, proposta por Lemaire e Salette (1984). Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Ao avaliar a curva de diluição de N proposta por Lemaire e Salette (1984) com as curvas de diluição geradas no tratamento N-Fert. Pastagem, evidenciou-se que até a produção de 3 Mg ha<sup>-1</sup> de MS acumulada os teores de N nas plantas, em todas as doses de N, estavam abaixo da curva crítica. A partir da produção de 3 Mg ha<sup>-1</sup> de MS acumulada do feijoeiro, nas doses 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, o teor de N passou a superar os teores estimados pelo modelo, indicando satisfatório teor de N nas plantas e com isso adequada nutrição nitrogenada. Na dose 50 kg de N ha<sup>-1</sup>, somente a partir de 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> de MS acumulada do feijoeiro é que o teor de N superou os teores estimados pelo modelo, indicando, então, adequada nutrição nitrogenada do feijoeiro. Já na ausência de adubação nitrogenada o teor de N sempre esteve bem abaixo da curva e, portanto, do teor crítico estimado pelo modelo,

indicando insuficiente nutrição nitrogenada da cultura.

Em função do supracitado, pode-se inferir que os teores de N na biomassa da parte aérea no início do ciclo de cultivo do feijoeiro não seriam suficientes para sustentar adequadamente o crescimento das plantas (LEMAIRE, 1997) no tratamento N-Fert. Grãos durante todo o ciclo de cultivo, e no tratamento N-Fert. Pastagem apenas em parte do ciclo de cultivo. Contudo, com o acúmulo de MS das plantas e adubação nitrogenada do feijoeiro (N-Fert. Grãos), as plantas não recuperaram a condição nutricional à níveis considerados satisfatórios para garantir elevadas produtividades. De outra forma, quando se fez a adubação nitrogenada do azevém no inverno e do feijoeiro no verão (N-Fert. Pastagem), resultando então, em melhorias na condição nutricional nitrogenada, com incremento no teor de N em relação ao teor crítico estabelecido pelo modelo, chegando a superar a curva, quando as plantas passam a um teor de N capaz de garantir elevada produtividade.

Ao avaliar a produtividade do feijoeiro no tratamento N-Fert. Grãos, constatou-se incremento linear com as doses de N aplicadas, chegando a 2.734 kg ha<sup>-1</sup> com a aplicação de 150 kg de N ha<sup>-1</sup> (Figura 33). Um importante fator a ser destacado neste tratamento é que a resposta do feijoeiro a adubação nitrogenada está associada a ausência de adubação nitrogenada na pastagem de azevém, o que pode ter resultado em imobilização do N pela biomassa microbiana quando da decomposição dos restos culturais, criando um ambiente possivelmente limitante em N. Essa condição foi potencializada nas menores doses de N (0 e 50 kg ha<sup>-1</sup>), cujas curvas de diluição foram consideravelmente inferiores as propostas pela equação de Lemaire e Salette (1984). Já nas doses de 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup> houve fornecimento de N suficiente para atender os microrganismos do solo e o feijoeiro, todavia, devido ao possível efeito inicial de imobilização do N, este pode ter sido restritivo às plantas e à produtividade.

No tratamento N-Fert. Pastagem houve adubação nitrogenada do azevém na dose de 200 kg de N ha<sup>-1</sup>, somado a isto, neste tratamento também foram criadas subparcelas com as doses N. Desta forma, no ano agrícola 2016/2017 houve a aplicação de 200 kg de N ha<sup>-1</sup> no azevém e mais as doses zero; 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup> no feijoeiro, perfazendo doses anuais de 200; 250; 300 e 350 kg de N ha<sup>-1</sup>.

Ao avaliar a produtividade do feijoeiro no tratamento N-Fert. Pastagem, constatou-se efeito quadrático com as doses de N aplicadas, chegando as

produtividades de 3.272; 3.169 e 3.196 kg ha<sup>-1</sup> com as doses de 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 45), entretanto, sem haver diferença expressiva, o que indica que a adubação da pastagem de azevém e a aplicação de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N no feijoeiro resulta em elevadas produtividades, mesmo sem atingir o teor crítico de N proposto por Lemaire e Salette (1984) pelo menos até o acúmulo de 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> de MS.

As maiores produtividades observadas no tratamento N-Fert. Pastagem em relação ao N-Fert. Grãos estão atreladas as quantidades de N aplicadas ao longo dos dois cultivos sequenciais, o que permitiu criar um ambiente favorável em N para ambas culturas, que se refletiu em maiores teores de N no feijoeiro, havendo, desta forma, melhor condição nutricional nitrogenada, o que promoveu maior produtividade. Cabe destacar que os restos culturais do azevém apresentaram maior teor de N na MS residual, 3,6% (BARRIGA, 2019), resultando em menor relação C/N, o que maximizou a atividade biológica e com isso a mineralização do N ao longo do ciclo do feijoeiro, que, associado a adubação nitrogenada, permitiu o fornecimento de N de maneira a coincidir à cinética de absorção de N pela cultura, o que potencializou o teor de N e a produtividade.

De modo geral, a ausência de adubação nitrogenada no feijoeiro, independentemente do tempo de adubação de N, resultou em plantas com menor teor de N em função da MS acumulada, apresentando uma curva de diluição sempre abaixo das demais curvas críticas geradas para as doses de N (50, 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>). Outro aspecto importante a destacar é que a produtividade do feijoeiro foi de 2.734 kg ha<sup>-1</sup> no tratamento N-Fert. Grãos com a aplicação de 150 kg de N ha<sup>-1</sup> e as plantas apresentando teor de N próximo ao crítico proposto pelo modelo, todavia, a produtividade do feijoeiro foi de 2.652 kg ha<sup>-1</sup> no tratamento N-Fert. Pastagem na dose zero kg de N ha<sup>-1</sup> e as plantas apresentando teor de N bem abaixo da curva crítica proposta pelo modelo.

O feijoeiro é uma planta da família das Fabaceae (Leguminosas), as quais possuem capacidade de realizar simbiose com microrganismos do solo (rizóbios). A condição de parte do N contido na MS da cultura ser resultante da FBN permite a planta incorporar mais N às raízes, translocando para a parte aérea durante o ciclo de cultivo, reduzindo a dependência do N mineral do solo (BONA FILHO, 2002). Devido a esta característica, o feijoeiro é uma planta C3 diferente das demais, pois,

mediante a FBN consegue manter maior reserva de N nas raízes, corroborando ao crescimento da planta ao longo do ciclo (JEUFFROY; NEY, 1997).

Ao comparar os resultados aos evidenciados por Levinski-Huf (2018), quando avaliou doses de N aplicadas em cobertura no feijoeiro das secas em um sistema de ILP, notabiliza-se que os resultados que corroboram são aqueles observados no tratamento N-Fert. Grãos, havendo teores de N abaixo da curva crítica proposta pelo modelo de Lemaire e Salette (1984). Já no tratamento N-Fert Pastagem, Levinski-Huf (2018) revelou teores de N abaixo da curva crítica para todas as doses e MS acumulada ao longo do ciclo de cultivo, o que foi evidenciado no presente experimento somente até a produção de 3,5 T ha<sup>-1</sup> de MS acumulada para as doses de 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, a partir da qual o teor de N nas plantas passou a superar o teor crítico proposto por Lemaire e Salette (1984), já na dose 50 kg de N ha<sup>-1</sup> o teor de N nas plantas superou a curva crítica somente a partir de 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> de MS acumulada.

Quando não se aplica N em cobertura no feijoeiro, mas a cultura anterior tenha recebido adubação nitrogenada, as plantas não atingem um nível de suficiência de N que permita assegurar índices nitrogenados adequados, indicando que há efeito residual do N da cultura anterior em sistemas de ILP para a cultura subsequente, mas, este pode ser insuficiente para promover adequados teores de N na planta, resultando em insuficiente estado nutricional nitrogenado, comprometendo a produtividade do feijoeiro.

Lemaire (1997) destaca que quando os teores de N na planta estão sobre ou acima da curva de diluição calculada para a espécie, a planta está bem nutrida em N e pode estar havendo consumo de “luxo”. Todavia, quando os teores de N na parte aérea das plantas estão abaixo da curva de diluição, a planta apresenta, teoricamente, deficiência de N, com isso, os teores podem ser considerados limitantes ao crescimento das plantas e possivelmente, ao rendimento de grãos.

#### 4.2.5 Parâmetros estimados para a curva de diluição do nitrogênio no feijoeiro

A partir do uso da equação  $N\% = a (MS)^{-b}$  proposta por Lemaire e Salette (1984) visando obter as curvas de diluição de N em plantas, obteve-se a relação entre a concentração de N na parte aérea e a quantidade de MS acumulada produzida pelas

plantas. Na equação o parâmetro “a” corresponde a quantidade de N que a planta necessita absorver para produzir 1 Mg ha<sup>-1</sup> de MS, e o parâmetro “b” representa a velocidade de diluição do N na planta durante o ciclo de desenvolvimento.

No tratamento N-Fert. Grãos os valores observados para os parâmetros “a” e “b” foram maiores nas parcelas em que foi realizada adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro em relação a parcela que não recebeu N, o que corrobora aos resultados de Levinski-Huf (2018). A condição de melhor nutrição nitrogenada do feijoeiro permitiu maior crescimento das plantas e com isso aumento no índice de área foliar, resultando em maior produção de fotoassimilados, o que incrementa a absorção de água e nutrientes, fundamentais a produtividade da cultura (SANT’ANA; SILVEIRA, 2008). Bona Filho (2002) destaca que o N aplicado em cobertura no feijoeiro influencia positivamente no acúmulo de MS da planta, e segundo Levinski-Huf (2018), isso é potencializado com maiores doses de N.

Segundo Taiz e Zeiger (2013), plantas bem nutridas, fundamentalmente em N, promovem melhores índices fisiológicos, o que resulta em maior produção de biomassa acumulada da parte aérea, maximizando o processo de fotossíntese, o que potencializa, ao final do ciclo, a produtividade da cultura.

Há um incremento nos valores dos parâmetros “a” com a dose de N, sendo de 3,20; 3,80; 3,85 e 4,18, havendo variação do parâmetro “b”, 0,198; 0,261; 0,214 e 0,251 para a dose zero; 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 4). O maior valor para o parâmetro “a” foi observado na dose 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, já o maior valor para o parâmetro “b” na dose 50 kg de N ha<sup>-1</sup>. A mesma tendência de comportamento foi verificada por Levinski-Huf (2018) ao cultivar feijão das secas em sistema de ILP sob doses de N, notabilizando incremento no parâmetro “a” com as doses de N, já no parâmetro “b” evidenciou valores de 0,21; 0,28; 0,26 e 0,21 para as doses zero, 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, com o maior valor na dose 50 kg de N ha<sup>-1</sup>, assim como o verificado no presente trabalho.

O presente trabalho e o de Levinski-Huf (2018) apontam maior e menor velocidade de diluição na dose 50 e zero kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente, indicando que o fornecimento de N via adubação promove incremento no teor de N para a produção de 1 Mg ha<sup>-1</sup> de MS, bem como na velocidade de diluição, corroborando ao fato que a aplicação de N estimula o crescimento da planta e a produção MS em relação ao teor de N absorvido, resultando em maior velocidade de diluição.

**Tabela 4** - Estimativa dos parâmetros a e b do modelo proposto por Lemaire e Salette (1984),  $\%N = a (MS)^{-b}$ , no tratamento N-Fert. Grãos em função de doses de N no feijoeiro. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Dose de N kg ha <sup>-1</sup>	Parâmetros		R <sup>2</sup> ajustado
	A	b	
0	3,21	0,198	0,81
50	3,79	0,261	0,83
100	3,85	0,214	0,67
150	4,18	0,251	0,77

Evidencia-se que a ausência de adubação nitrogenada no feijoeiro resulta em menor teor de N na parte aérea para a produção de 1 Mg ha<sup>-1</sup> de MS (parâmetro “a”), ao passo que na maior dose de N o teor foi maior, quase um ponto percentual a mais de N na biomassa da parte aérea. Quando se avalia o parâmetro “b”, evidencia-se maior velocidade de diluição quando aplicado N no feijoeiro. Este fato pode estar atrelado a maior absorção de N pelas plantas, o que potencializa a produção de MS, com grande expansão foliar e incremento no índice de área foliar (LEMAIRE; GASTAL, 2018), o que, associado a adequada nutrição nitrogenada, promove, relativamente, maior velocidade de diluição do N na planta.

Cabe destacar que o teor de N no feijoeiro foi inferior aos teores críticos propostos pelo modelo Lemaire e Salette (1984), o que pode indicar insuficiente nutrição nitrogenada mesmo com a adubação nitrogenada da cultura, o que resultou em menor produtividade do feijoeiro no tratamento N-Fert. Grãos em relação ao N-Fert. Pastagem.

No tratamento N-Fert. Pastagem o valor evidenciado para o parâmetro “a” foi maior nas parcelas em que se realizou a adubação nitrogenada do feijoeiro em relação a parcela que não recebeu N, todavia, o parâmetro “b” foi maior na parcela que não recebeu adubação nitrogenada (Tabela 5), apresentando comportamento diferente ao tratamento N-Fert. Grãos.

O parâmetro “a” apresentou os valores de 3,67; 4,13; 4,24 e 4,18 para as doses zero; 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente, indicando que a dose de 100 kg de N ha<sup>-1</sup> promoveu aumento na necessidade de N pela planta para produzir 1 Mg ha<sup>-1</sup> de MS.

**Tabela 5** - Estimativa dos parâmetros a e b do modelo proposto por Lemaire e Salette (1984), %N = a (MS)<sup>-b</sup>, no tratamento N-Fert. Pastagem em função de doses de N no feijoeiro. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Dose de N Kg ha <sup>-1</sup>	Parâmetros		R <sup>2</sup> ajustado
	A	b	
0	3,67	0,290	0,89
50	4,12	0,224	0,89
100	4,24	0,217	0,67
150	4,18	0,205	0,85

Nota-se que a ausência de adubação nitrogenada no tratamento N-Fert. Pastagem resultou em menor teor de N nas plantas para a produção de 1 Mg ha<sup>-1</sup> de MS, ao passo que na maior dose de N o teor crítico foi superior (0,51 pontos percentuais). O mesmo comportamento do parâmetro “a” da equação de Lemaire e Salette (1984) foi evidenciado por Levinski-Huf (2018). Ao avaliar o parâmetro “b”, evidencia-se redução nos valores com as doses de N, 0,290; 0,224; 0,217 e 0,205 para as doses zero; 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente, os quais apresentam semelhança aos evidenciados por Levinski-Huf (2018).

Os resultados demonstram que a adubação nitrogenada do feijoeiro promoveu menor velocidade de diluição do N na planta, ou seja, quanto maior a dose de N aplicada, menor o parâmetro “b”, indicando que houve maior produção de MS kg<sup>-1</sup> de N absorvido, reforçando a condição de melhor nutrição nitrogenada, todavia, na dose zero kg de N ha<sup>-1</sup> houve maior velocidade de diluição, resultando, portanto, em pior condição nutricional nitrogenada e menor produção de MS kg<sup>-1</sup> de N absorvido.

No tratamento N-Fert. Pastagem as doses N no feijoeiro promoveram elevada entrada de N no sistema, 200 kg ha<sup>-1</sup> na fase pastagem e mais as doses de N no feijoeiro, havendo parcelas que receberam 350 kg de N ha<sup>-1</sup> nas duas fases do sistema, o que resultou em grande quantidade de N, com produção de MS da pastagem e do feijoeiro, criando um ambiente de nutrição nitrogenada adequada às plantas, com maiores valores no parâmetro “a” e menores no parâmetro “b” nas doses 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup> (Tabela 5).

Cabe destacar que a adubação nitrogenada do feijoeiro promoveu teor de N às plantas acima do nível crítico indicado pela equação de Lemaire e Salette (1984) mais para o final do ciclo de cultivo, o que pode estar associado a mineralização do N com efeito residual do cultivo anterior, o que, associado a cinética de absorção de N pelo feijoeiro, corroborou à melhor condição de nutrição nitrogenada das plantas.

Ao comparar os resultados do parâmetro “a” entre os tempos de

adubação de N, evidencia-se que no tratamento N-Fert. Grãos os valores foram inferiores e bastante distintos aos do tratamento N-Fert. Pastagem nas doses zero, 50 e 100 kg de N ha<sup>-1</sup>, todavia, foram próximos na dose 150 kg de N ha<sup>-1</sup>. O parâmetro “b” apresentou dinâmica bastante distinta entre os tempos de adubação de N, havendo redução com o incremento nas doses de N no tratamento N-Fert. Pastagem e aumento N-Fert. Grãos.

#### 4.2.6 Determinação da curva crítica de nitrogênio no feijoeiro

As curvas críticas de diluição de N são fundamentais para a avaliação do estado nutricional nitrogenado das plantas, as quais podem ser influenciadas pelos níveis de adubação nitrogenada, sob as quais se busca encontrar o teor mínimo de N que maximize a produção de MS e o rendimento de grãos da cultura (GASTAL; LEMAIRE, 2002; LEMAIRE; GASTAL, 2018; PLÉNET; LEMAIRE; AGNUSDEI, 1999).

Para a determinação da curva crítica de N no feijoeiro foram selecionados vinte e oito pontos críticos dos dados experimentais que apresentaram os maiores teores de N em cada avaliação de plantas, e aqueles com MS da parte aérea maior que 480 kg ha<sup>-1</sup>, utilizadas para estimar os parâmetros “a” e “b” da curva crítica de diluição de N para o feijoeiro.

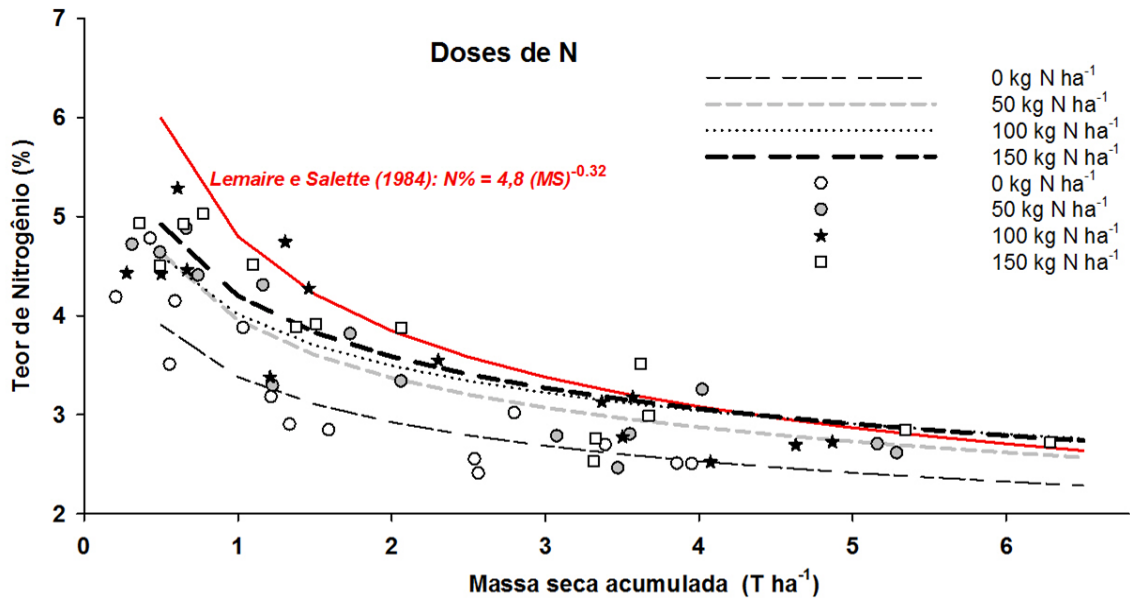
Observa-se, de maneira geral, que os teores de N no feijoeiro em função do acúmulo de MS da parte aérea das plantas foram inferiores ao estimado pela equação de Lemaire e Salette (1984). As doses zero e 50 kg de N ha<sup>-1</sup>, durante todo o período de cultivo, apresentaram teores de N inferiores aos propostos pela equação, sempre abaixo do nível crítico. Já nas doses 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup> os teores críticos de N superaram os da equação de Lemaire e Salette (1984) somente após o acúmulo de 4,3 Mg de MS ha<sup>-1</sup> (Figura 25).

Os resultados permitem afirmar que a adubação nitrogenada do feijoeiro em doses superiores a 100 kg de N ha<sup>-1</sup> em um sistema de ILP é fundamental para promover maior produção de MS e teor de N nas plantas, havendo melhor índice nutricional nitrogenado, que poderá resultar em elevadas produtividades desde que outros fatores sejam favoráveis à cultura.

O modelo geral de diluição do N em função da MS acumulada pelo feijoeiro, independentemente do tempo de adubação de N e altura de pasto, resultou



na seguinte equação:  $N\% = 4,35 (MS)^{-0,22}$  (Figura 26). O valor 4,35 indica que o feijoeiro necessita obter 4,35% de N para produzir 1 Mg ha<sup>-1</sup> de MS, já o valor 0,22 indica a velocidade de diluição do N na planta durante o ciclo de cultivo.

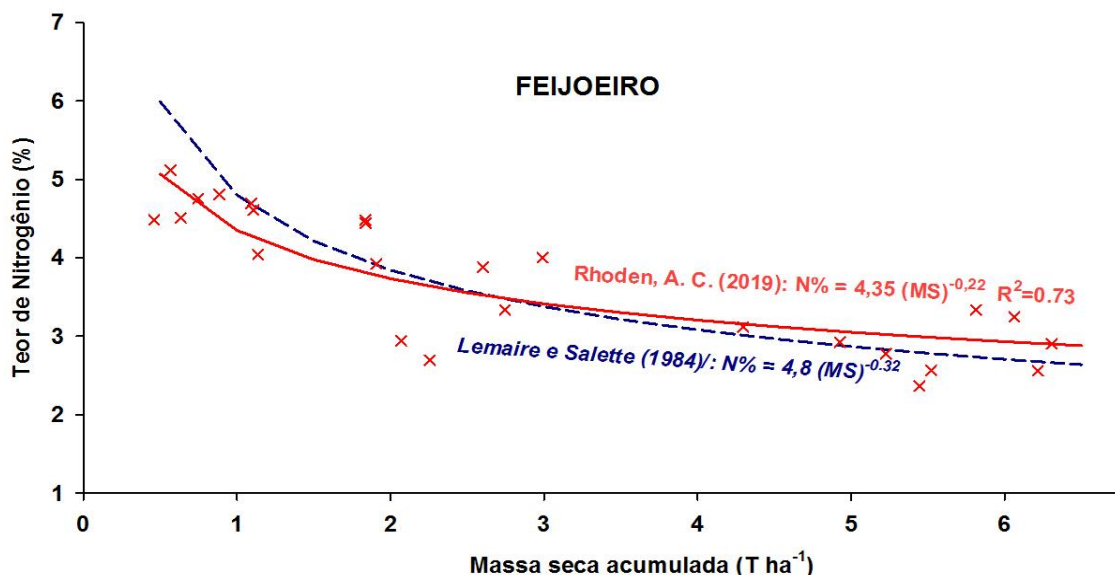


**Figura 25** - Teor de N no feijoeiro na safra 2016/2017 em função da MS acumulada e das doses de N comparado à curva de diluição de N para plantas C3,  $N\% = 4,8 (MS)^{-0,32}$ , proposta por Lemaire e Salette (1984). Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Ao avaliar a equação proposta por Lemaire e Salette (1984) e compará-la a equação gerada no presente trabalho, evidencia-se que a equação proposta para plantas C3 superestima o parâmetro “a”, 4,8 contra 4,35, bem como o parâmetro “b”, 0,32 contra 0,22, respectivamente, com considerável diferença, o que pode indicar que a equação proposta para plantas C3 não se ajusta ao feijoeiro cultivado em sistema de ILP nas condições do experimento.

A curva de diluição de N para o feijoeiro apresenta comportamento semelhante ao modelo proposto por Lemaire e Salette (1984), com decaimento do teor de N em função do acúmulo de MS, todavia, o modelo proposto superestima o teor de N do feijoeiro no início do ciclo de cultivo, porém, com o passar do tempo, especificamente após a produção de 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> de MS acumulada, passa a subestimar o teor de N, divergindo dos parâmetros e equação sugeridos no presente trabalho. Ao avaliar a curva crítica de diluição de N no feijoeiro das secas em função do tempo de adubação de N, altura de pasto e doses de N, Levinski-Huf (2018)

evidenciou como equação geral do experimento:  $N\% = 3,62 (MS)^{-0,20}$ , diferente da equação de Lemaire e Salette (1984) e da equação obtida no presente trabalho. Desta forma, verifica-se que as três equações propostas para plantas C3 apresentam diferença nos parâmetros “a” e “b”.



**Figura 26** - Teor de N no feijoeiro na safra 2016/2017 em função da MS acumulada, curva e equação de diluição do N gerada no presente trabalho,  $N\% = 4,35 (MS)^{-0,22}$ , comparado a curva e equação de diluição de N para plantas C3,  $N\% = 4,8 (MS)^{-0,32}$ , proposta por Lemaire e Salette (1984). Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Não obstante, os parâmetros da equação gerada neste experimento são diferentes aos propostos pelo modelo de Lemaire e Salette (1984), indicando ser necessário a realização de mais experimentos para avaliar o comportamento do feijoeiro ao longo dos anos e com cultivares diferentes, pois há diferenças nas condições climáticas entre os anos, bem como entre o comportamento das cultivares existentes no mercado. Também, os sistemas de ILP possuem características diferentes em relação a outros sistemas de manejo, o que pode resultar em comportamento diferenciado da planta em função das condições químicas, físicas e biológicas do solo criadas em sistemas que se tem a interface solo-planta-animal. O modelo proposto no presente trabalho apresentou um coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  aj) de 73%, indicando que a equação é adequada ao feijoeiro cultivado nas condições do experimento.

Greenwood et al. (1990) propuseram o modelo de curva crítica de

diluição de N para as plantas C3 estudadas pela seguinte equação:  $N\% = 5,67 (MS)^{-0,5}$ , Yao et al. (2017) avaliando a curva crítica de diluição do N para arroz irrigado japonico evidenciaram como equação para determinação do N crítico:  $N\% = 3,76 (MS)^{-0,218}$ . Huang et al. (2017) avaliando a curva crítica de diluição do N para arroz irrigado índico evidenciaram como equação para determinação do N crítico:  $N\% = 2,77 (MS)^{-0,34}$ . Marino et al. (2004) ao avaliar a curva de diluição de N em azevém cultivado na Argentina verificou que a curva crítica que descreve a diluição do N pode ser determinada pela equação:  $N\% = 4,07 (MS)^{-0,379}$ . Desta forma, evidencia-se diferentes curvas para espécies de plantas C3, o que pode indicar que o uso de uma única equação para descrever o comportamento da diluição do N em plantas desse grupo não é recomendado.

Ao verificar o estado nutricional nitrogenado de diferentes cultivares de soja, Divito et al. (2016) evidenciaram variação nos parâmetros “a” e “b” da equação, sendo de:  $N\% = 3,5$  a  $3,9 (MS)^{-0,06}$  a  $-0,09$ , corroborando as afirmações de Huang et al. (2017), de que os teores críticos de N e a velocidade de diluição podem variar entre espécies, e, conforme Divito et al. (2016), entre cultivares de uma mesma planta, o que reforça a necessidade de mais estudos e aperfeiçoamento das equações para as culturas e sistemas de cultivos.

Huang et al. (2017) afirmam que as curvas críticas de diluição de N para as plantas, tanto C3 como C4, devem ser geradas em diversos locais e situações de cultivo, haja visto evidenciarem em sua revisão bibliográfica diversas equações para plantas da mesma espécie cultivadas em diferentes locais. Lemaire e Gastal (1997) destacam que as curvas de diluição devem ser desenvolvidas para um diagnóstico mais preciso do estado nutricional nitrogenado das plantas de acordo com as características histológicas, morfológicas e fisiológicas das espécies.

Levinski-Huf (2018) ao avaliar o feijoeiro das secas em experimento de ILP evidenciou que o teor crítico de N em função da MS acumulada apresentou, durante todo o ciclo da cultura, comportamento abaixo da curva proposta pelo modelo de Lemaire e Salette (1984). No presente trabalho o feijoeiro apresentou teor de N abaixo do estimado pela curva crítica do modelo até a produção de  $2,8 \text{ Mg ha}^{-1}$  de MS acumulada, o que indica teor de N na planta inferior ao necessário para obter elevadas produtividades. A partir desta quantidade de MS acumulada pelo feijoeiro o teor crítico de N sobressaiu a curva crítica do modelo, o que indica que desse momento em diante

a cultura passou a ter teor de N adequado para obter elevadas produtividades, e com isso, melhor estado nutricional nitrogenado.

Esta resposta do feijoeiro pode estar atrelada a dinâmica dos sistemas de ILP, em que se verifica mudança na cinética de mineralização do N por microrganismos do solo a partir da decomposição dos restos culturais do azevém e das fezes dos animais (ANGHINONI et al., 2011; KUNRATH et al., 2015; ASSMANN et al., 2018), podendo resultar em menor disponibilidade de N no início do ciclo de cultivo, ao passo que a adubação nitrogenada de cobertura do feijoeiro pode ter estimulado a atividade biológica, corroborado ao aumento da disponibilidade de N, associado a cinética de absorção de N pelas plantas, promovendo melhor estado nutricional nitrogenado da cultura.

Segundo Assmann et al. (2018) e Levinski-Huf (2018), sistemas de ILP bem manejados tendem a apresentar condição química, física e biológica do solo diferenciada em relação a outros sistemas de cultivo, o que se deve a adubação das culturas ao adequado manejo do pasto e a presença dos animais com aporte de fezes e urina, promovendo a ciclagem dos nutrientes entre a fase pastagem e a fase cultura de grãos, também, pela redução nas perdas de N por volatilização da amônia (LIMA, 2018) e por lixiviação de nitrato (BORTOLLI, 2016; LEVINSKI-HUF, 2018), o que permite afirmar que o N está presente no solo imobilizado na biomassa microbiana ou adsorvido as cargas elétricas (CTC e CTA), sendo disponibilizado à cultura de grãos ao longo do ciclo de cultivo, de forma a coincidir à cinética de absorção de N, permitindo adequada nutrição nitrogenada das plantas.

#### 4.2.7 Índice nutricional nitrogenado no feijoeiro

O índice nutricional nitrogenado (INN) é uma importante ferramenta a ser utilizada para fazer o diagnóstico do estado nutricional nitrogenado das plantas ao longo do ciclo da cultura e com isso determinar a necessidade real de aplicação adicional de fertilizante nitrogenado (LEMAIRE et al., 1989), para que a planta absorva N e atinja o nível crítico que permita elevadas produtividades (LEMAIRE; GASTAL, 1997; LEMAIRES; GASTAL, 2018).

Ao avaliar o INN do feijoeiro evidenciou-se efeito significativo e interação tripla (Anova - Anexo 18) entre dias após a semeadura (DAS), tempo de adubação de

N e doses de N ( $P=0,0353$ ), além de efeito isolado da altura de pasto ( $P=0,0317$ ). Para desdobramento da interação tripla, optou-se por isolar o fator tempo de adubação de N (N-Fert. Grãos e N-Fert. Pastagem), avaliando o efeito dos DAS e doses de N.

No tratamento N-Fert. Grãos verificou-se efeito isolado dos DAS ( $P=0,0000$ ) e das doses de N ( $P=0,0000$ ) sobre o INN (Anova - Anexo 19). Ao avaliar o efeito dos DAS sobre o INN evidencia-se que aos 35 DAS o feijoeiro apresentou o menor valor médio para o INN, 63,33, indicando insuficiente teor de N nas plantas para garantir elevadas produtividades. Cabe salientar que nesta avaliação ainda não havia sido realizado a adubação nitrogenada, além de ser um período de baixa precipitação, e, apesar de haver adequado teor de N mineral no solo, não resultou em absorção pelas plantas (Figura 27).

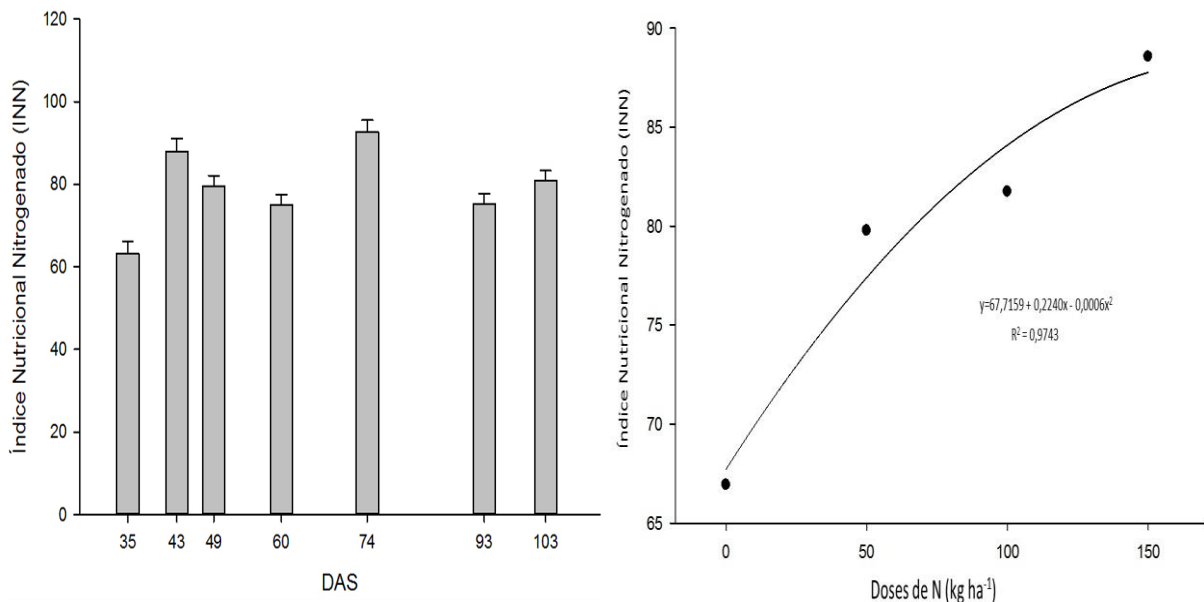
Aos 43 DAS o INN a um valor médio de 88,03, considerado satisfatório para as plantas. Aos 49 e 60 DAS o INN caiu para 79,57 e 74,99, respectivamente, com redução e rebaixamento da faixa de interpretação, voltando a estar como insuficiente. Aos 74 DAS as plantas apresentaram o maior valor médio de INN, 92,71 (satisfatório), retornado para 75,23 (insuficiente) e 80,87 (satisfatório) nas avaliações aos 93 e 103 DAS, respectivamente.

Mesmo com a adubação nitrogenada não se evidenciou valores de INN superiores a 100, que indicaria muito satisfatório teor de N nas plantas. Das sete avaliações realizadas, em quatro o INN foi considerado insuficiente e em três, suficiente. Esta condição aponta que mesmo o feijoeiro recebendo adubação nitrogenada, esta não foi suficiente para atingir elevados teores de N nas plantas, podendo ter comprometido a produtividade da cultura.

Ao avaliar o efeito das doses de N no tratamento N-Fert. Grãos sobre o INN, evidenciou-se que na dose zero kg de N  $ha^{-1}$  o INN médio foi 66,93 (insuficiente), já nas doses 50; 100 e 150 kg de N  $ha^{-1}$  os valores médios de INN foram de 79,77 (insuficiente); 81,73 e 88,55 (satisfatório), respectivamente (Figura 27).

No tratamento N-Fert. Grãos evidencia-se que as maiores doses de N proporcionaram INN considerado satisfatório para o feijoeiro, com valores médios acima de 80, já na ausência de adubação nitrogenada o INN foi considerado insuficiente, sendo que neste caso o N absorvido pelas plantas, possivelmente, foi oriundo da dinâmica do sistema de ILP adotado, o que se deve aos restos culturais

do azevém, a presença dos animais com aporte de fezes e urina e o fator memória do solo, o que permitiu a ciclagem do N entre as fases do sistema e a absorção pelo feijoeiro.

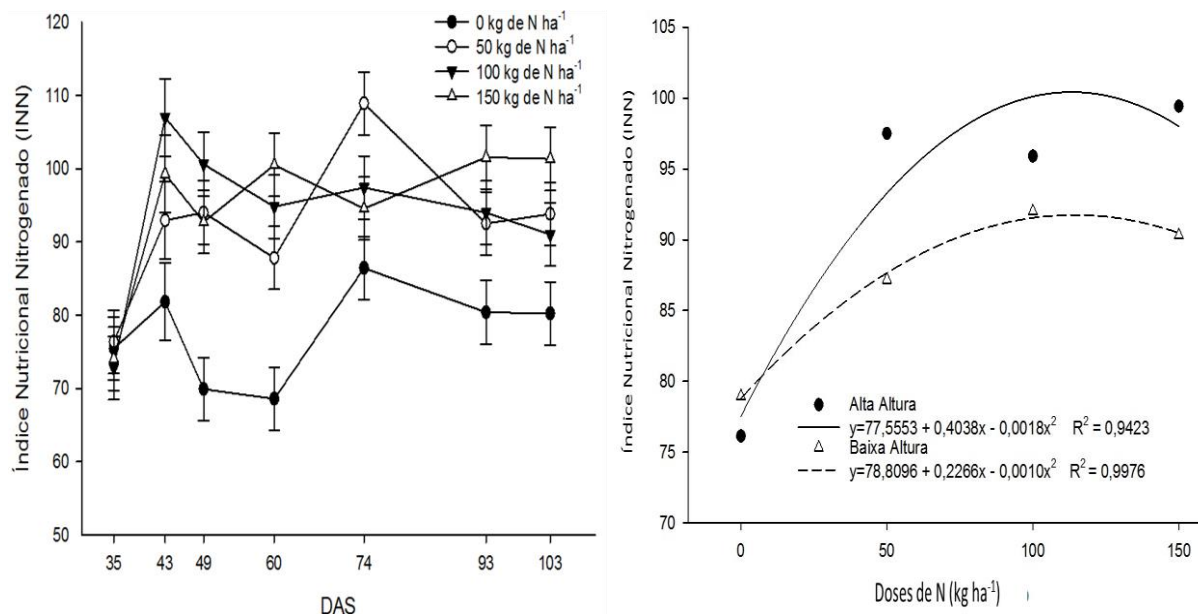


**Figura 27** - Índice nutricional nitrogenado (INN) do feijoeiro na safra 2016/2017 no tratamento N-Fert. Grãos em função dos dias após a semeadura (DAS). Índice nutricional nitrogenado (INN) do feijoeiro na safra 2016/2017 no tratamento N-Fert. Grãos em função das doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Ao avaliar o tratamento N-Fert. Pastagem verificou-se efeito de interação dupla entre dias após a semeadura e doses de N ( $P=0,0047$ ), e entre altura de pasto e doses de N ( $P=0,0259$ ), além de efeito isolado da altura de pasto sobre o INN (Anova - Anexo 20).

O INN apresentou variação entre os DAS para todas as doses de N, havendo valor médio de 74 aos 35 DAS, considerado insuficiente, todavia a partir dos 43 DAS o INN foi sempre inferior na dose zero kg de N ha<sup>-1</sup> em relação as plantas que receberam adubação nitrogenada. Os maiores valores médios do INN das plantas na dose zero kg de N ha<sup>-1</sup> ocorrem aos 74, 93 e 103 DAS, sendo classificados como satisfatórios, acima de 80 (Figura 28). Este resultado pode estar atrelado a adubação nitrogenada da pastagem de azevém, que permitiu plantas melhor nutridas, produzindo restos culturais com menor relação C/N em comparação ao tratamento N-Fert. Grãos, e, a partir dos 60 DAS, possivelmente, houve mineralização do N dos restos culturais, promovendo incremento no teor de N mineral no solo, corroborando a cinética de absorção de N pelo feijoeiro. Cabe destacar que o teor de N na MS

residual do azevém foi de 3,6% e 2,34% para os tratamentos N-Fert. Pastagem e N-Fert. Grãos, respectivamente (BARRIGA, 2019).



**Figura 28 - Índice nutricional nitrogenado (INN) do feijoeiro na safra 2016/2017 no tratamento N-Fert. Pastagem em função dos dias após a semeadura (DAS) e doses de N. Índice nutricional nitrogenado (INN) do feijoeiro na safra 2016/2017 no tratamento N-Fert. Pastagem em função da altura de pasto e doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.**

Nos tratamentos em que foi aplicado o adubo nitrogenado, com exceção da avaliação aos 35 DAS, o INN sempre foi superior a 80, o que indica condição satisfatória de N nas plantas. Os maiores valores médios para o INN foram verificados aos 93 e 103 DAS na dose 150 kg de N ha<sup>-1</sup> e aos 74 DAS na dose 50 kg de N ha<sup>-1</sup> (Figura 28). Esta condição implica que a adubação nitrogenada promove melhores INN no feijoeiro, portanto, é fundamental a adubação nitrogenada visando obter melhor INN para obter elevadas produtividades.

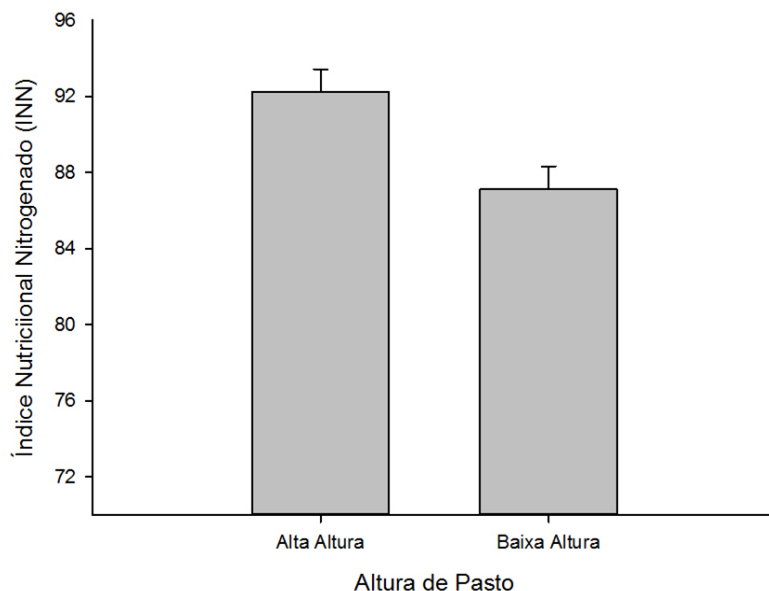
Ao avaliar a interação dupla entre altura de pasto e doses de N, evidenciou-se que no tratamento alta altura o INN foi superior à baixa altura quando se aplicou N, já na ausência de adubação nitrogenada as duas alturas de pasto resultaram em comportamento semelhante (Figura 28).

Na dose 100 kg de N ha<sup>-1</sup> os tratamentos alta e baixa altura de pasto não apresentaram diferença significativa para o INN, todavia, nas doses 50 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup> os INN foram discrepantes. No tratamento N-Fert. Pastagem com o pasto manejado em alta altura os INN médios ficaram entre 80 e 100, indicando adequado

teor de N nas plantas, mas de maneira importante, a adubação nitrogenada do azevém permitiu maior produção de MS e de restos culturais com menor relação C/N, os quais, possivelmente, foram decompostos pelos microrganismos do solo com mineralização do N, o qual foi absorvido pelo feijoeiro, melhorando a nutrição nitrogenada das plantas, o que pode ser justificado pelos elevados teores de N mineral no solo e incremento do INN em relação ao tratamento N-Fert. Grãos.

Pode-se afirmar que no tratamento N-Fert Pastagem, independente da altura do pasto, a adubação nitrogenada do feijoeiro somado ao N advindo da fase pastagem, corroboram à nutrição nitrogenada do feijoeiro, resultando em INN satisfatório, indicando que a adubação da pastagem é fundamental para a ciclagem do N entre os cultivos em um sistema de ILP.

Ao avaliar o efeito isolado da altura de pasto sobre o INN do feijoeiro no tratamento N-Fert. Pastagem, evidencia-se valores superiores para o pasto manejado em alta altura (Figura 29), o que está atrelado a melhor qualidade dos restos culturais devido a adubação nitrogenada da pastagem e ao aporte de N via fezes e urina pelos animais.



**Figura 29** - Índice nutricional nitrogenado (INN) do feijoeiro na safra 2016/2017 no tratamento N-Fert. Pastagem em função da altura de pasto. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

O maior INN verificado no tratamento-Fert. Pastagem com o pasto manejado em alta altura corroborou a maior produtividade do feijoeiro obtida neste tratamento, indicando que os restos culturais são fundamentais à ciclagem do N entre



as fases de cultivo em um sistema de ILP. Ao proceder a avaliação do efeito isolado do tempo de adubação de N sobre o INN, evidencia-se teores médios superiores e satisfatórios no tratamento N-Fert. Pastagem em relação ao N-Fert. Grãos. Também, ao avaliar o efeito isolado das doses de N sobre o INN, verifica-se que a adubação nitrogenada promoveu satisfatório INN do feijoeiro, exceto na dose zero kg de N ha<sup>-1</sup>.

A partir dos resultados evidenciados, é possível afirmar que em sistemas de ILP manejados adequadamente em relação à altura de pasto e a adubação nitrogenada, há ciclagem do N da fase pastagem para a fase cultura de grãos, criando-se um ambiente favorável a atividade biológica e a redução das perdas de N, corroborando a adubação de sistemas.

Maccari (2016) ao avaliar o INN da cultura do milho em função de doses de N em um sistema de ILP destaca que os elevados INN confirmam que a antecipação da adubação nitrogenada em cobertura realizada na pastagem proporciona ao milho níveis adequados de nutrição nitrogenada, mesmo sem utilizar N em cobertura no milho. Segundo Sartor et al. (2014), a adubação nitrogenada da pastagem pode contribuir na aceleração dos processos de decomposição dos restos culturais da pastagem, bem como da matéria orgânica, promovendo maior disponibilidade de nutrientes para o cultivo subsequente. Outro fator importante que corrobora a ciclagem do N é a presença dos animais, os quais excretam N via fezes e urina, aumentando a ciclagem e a disponibilidade de nutrientes.

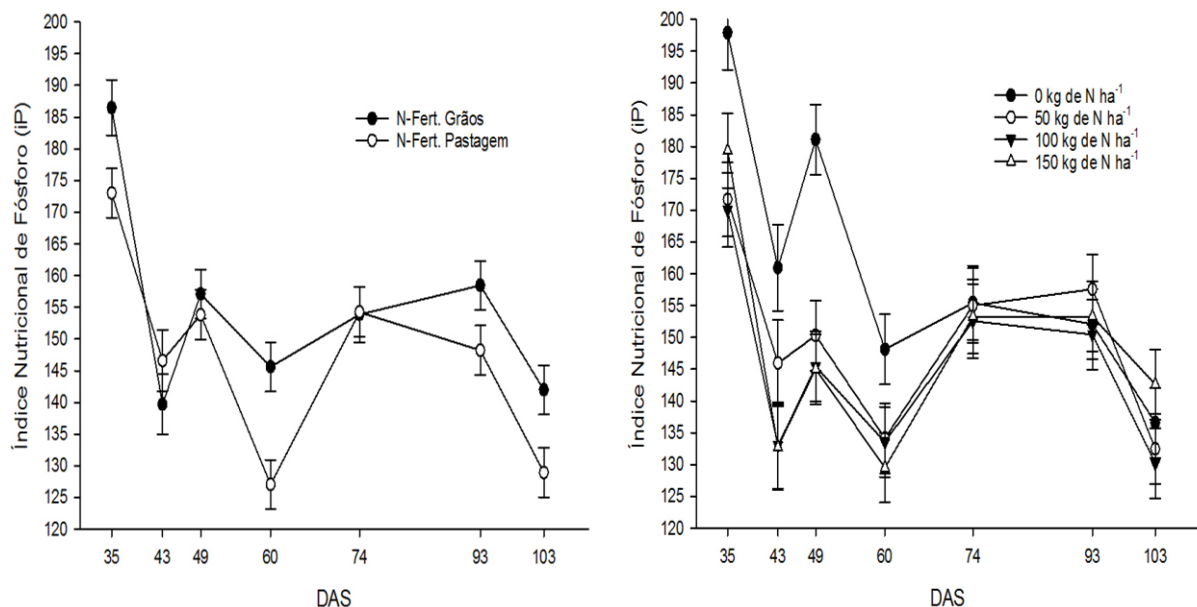
Diversos trabalhos em sistemas de ILP buscam demonstrar o efeito residual do N aplicado na pastagem no inverno sob a cultura subsequente (ASSMANN et al., 2003; BORTOLLI, 2016, LEVINSKI-HUF, 2018, SANDINI et al., 2011), havendo maiores produtividades de pasto e ganho de peso dos animais, com manutenção do N no sistema e sua ciclagem à cultura subsequente. Segundo Sartor (2012), Assmann et al. (2008) e Assmann et al. (2018), isso caracteriza a prática de fertilização do sistema de produção e não restritivo apenas a cultura em questão, o que resulta em menor entrada de insumos na propriedade e aumento na eficiência de uso dos nutrientes.

#### 4.2.8 Índice nutricional de fósforo no feijoeiro

O índice nutricional de fósforo (iP) é um importante parâmetro para

avaliar a nutrição fosfatada das plantas em função da disponibilidade de P no solo e da absorção pela planta. O teor de P manteve-se aproximadamente constante ao longo do ciclo do feijoeiro (Figura 26), todavia, para o cálculo do iP utiliza-se uma equação que se baseia no teor de P e N da planta, em função disso, evidenciou-se efeito significativo e interação dupla (Anova - Anexo 21) entre os dias após a semeadura (DAS) e tempo de adubação de N ( $P=0,0443$ ), e entre dias após a semeadura (DAS) e doses de N ( $P=0,0189$ ), além de efeito isolado do fator altura de pasto ( $P=0,0147$ ).

Ao avaliar a interação entre DAS e tempo de adubação de N sobre o iP, evidencia-se diferença significativa entre os tratamentos N-Fert. Grãos e N-Fert. Pastagem aos 35; 60; 93 e 103 DAS, com maiores valores no N-Fert. Grãos. Os maiores valores médios do iP ocorreram aos 35 DAS no tratamento N-Fert. Grãos no N-Fert. Pastagem, 186,49 e 170,39, respectivamente (Figura 30).



**Figura 30** - Índice nutricional de fósforo (iP) do feijoeiro na safra 2016/2017 em função dos dias após a semeadura (DAS) e do tempo de adubação de N. Índice nutricional de fósforo (iP) do feijoeiro na safra 2016/2017 em função dos dias após a semeadura (DAS) e doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

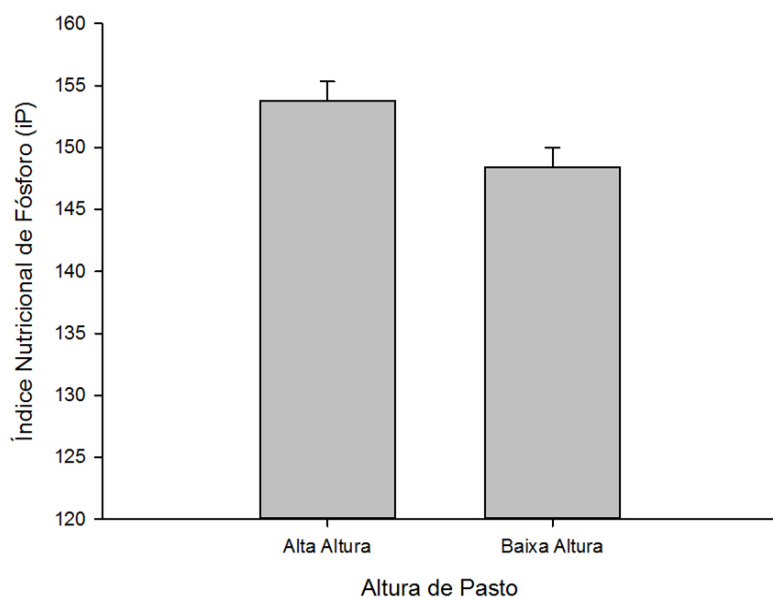
Os valores do iP para o feijoeiro em todas as avaliações foram superiores a 120, indicando consumo excedente de P pelas plantas, também denominado de consumo de luxo, o que está associado a adubação fosfatada que é realizada em todos os cultivos ao longo dos anos do experimento, tanto na pastagem como na

cultura de grãos, bem como a presença dos animais em pastejo, os quais retornam consideráveis teores de P via deposição de fezes, corroborando a ciclagem de P entre a fase pastagem e a fase cultura de grãos.

Ao avaliar a interação entre DAS e doses de N sobre o iP, evidencia-se redução no iP com o passar do ciclo da cultura (Figura 30). Os maiores valores médios foram obtidos aos 35 DAS, já os menores aos 60 e 103 DAS, independente da dose de N. O maior valor médio foi de 197,90 na dose zero kg de N ha<sup>-1</sup> aos 35 DAS, já o menor valor médio foi de 129,53 na dose 150 kg de N ha<sup>-1</sup> aos 60 DAS.

Houve diferença significativa entre a dose zero kg de N ha<sup>-1</sup> e as demais aos 35; 43; 49 e 60 DAS, porém, nas doses 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup> não se evidenciou diferença significativa dentro de cada avaliação. Considerando as doses de N, verifica-se aos 35 DAS os maiores valores para o iP, reduzindo com o ciclo de cultivo, o que é esperado devido ao efeito de diluição do P na planta, sobretudo porque este índice é calculado com base no teor de N, o qual apresenta efeito acentuado de diluição com o incremento de MS ao longo do ciclo da cultura.

Quando avaliado o efeito isolado da altura de pasto, observa-se que no tratamento alta altura o iP é superior ao tratamento baixa altura, 153,79 e 148,39, respectivamente (Figura 31).



**Figura 31** - Índice nutricional de fósforo (iP) do feijoeiro na safra 2016/2017 em função da altura de pasto. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

O manejo do pasto em alta altura permite a manutenção de maior

quantidade de restos culturais do azevém sobre o solo, além da presença dos animais que retornam o P via fezes, sendo decompostos posteriormente, promovendo a ciclagem do P entre a fase pastagem e a fase cultura de grãos. Desta forma, em sistemas de ILP bem manejados, com adubação das culturas e a presença dos animais evidencia-se que o P permanece no sistema, corroborando à maior disponibilidade do nutriente às plantas, gerando elevados índices nutricionais de fósforo.

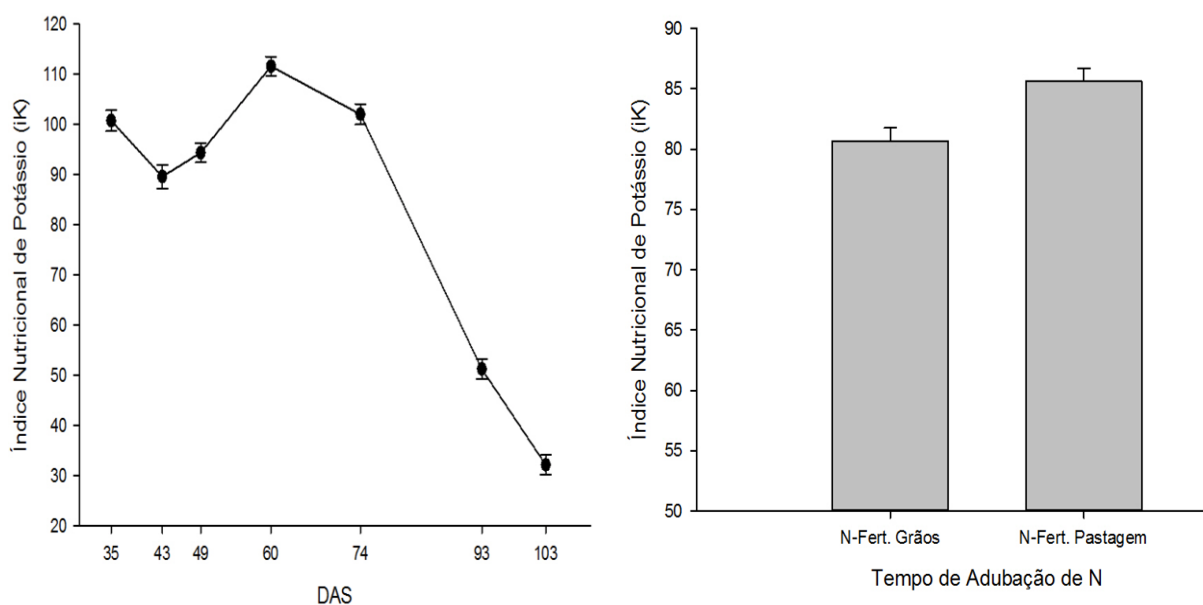
#### 4.2.9 Índice nutricional de potássio no feijoeiro

O índice nutricional de potássio (iK) também é um importante parâmetro para avaliação da nutrição potássica das plantas em função da disponibilidade de K no solo e da absorção pelas plantas. O teor de K apresentou redução ao longo do ciclo de cultivo do feijoeiro (Figura 32), entretanto, para o cálculo do iK utiliza-se uma equação que se baseia no teor de K e N da planta, em função disso, evidenciou-se diferença significativa e efeito isolado (Anova - Anexo 22) dos dias após a semeadura (DAS) ( $P=0,0000$ ), e do tempo de adubação de N ( $P=0,0015$ ). O feijoeiro apresentou iK em valores médios superiores a 80 aos 35; 43; 49; 60 e 74 DAS, considerado satisfatório, em contrapartida, valores extremamente baixos, inferiores a 50, considerado muito insuficiente, aos 93 e 103 DAS (Figura 32).

Cabe destacar que ao longo dos anos de desenvolvimento dos experimentos, em todos os cultivos, procedeu-se a adubação potássica seguindo as recomendações técnicas para cada cultura. Os maiores valores de iK nas cinco primeiras avaliações do feijoeiro estão atrelados a adubação potássica e ao alto teor de K no solo, o que refletiu em satisfatório iK. Todavia, nas duas últimas avaliações os menores valores evidenciados podem estar atrelados ao fato que o feijoeiro está indo para o estágio de maturação, momento em que a planta perde as folhas e quando a água da chuva lixivia o K do tecido, o que se deve ao fato do nutriente não fazer ligação específica com compostos orgânicos, podendo ser carregado pelas águas da chuva.

Esta afirmação está associada ao elevado teor de K evidenciado no solo ao final do ciclo de cultivo do feijoeiro (dados não apresentados na Tese) e a baixa exportação pela cultura, o que se reflete em menor iK ao final do ciclo de cultivo. Os

menores valores de iK ao final do ciclo de cultivo indicam efeito de diluição. Greenwood e Stone (1998) aplicaram um modelo para avaliar o teor crítico de K e o efeito de diluição em plantas sob a hipótese de que a concentração decresce com o aumento da biomassa das culturas, mantendo uma proporcionalidade à concentração crítica de N, verificando que realmente há um efeito de diluição do K, cujo comportamento é semelhante ao do N.



**Figura 32** - Índice nutricional de potássio (iK) do feijoeiro na safra 2016/2017 em função dos dias após semeadura (DAS). Índice nutricional de potássio (iK) do feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

O tempo de adubação de N exerce influência sobre o iK, sendo que no tratamento N-Fert. Pastagem os valores médios foram superiores aos do tratamento N-Fert. Grãos, 85 e 81, respectivamente, considerados satisfatórios (Figura 38).

Ao avaliar o iK e o INN em função somente do tempo de adubação de N, evidencia-se comportamento semelhante, com menores índices no tratamento N-Fert. Grãos e maiores no N-Fert. Pastagem, 80,64 e 85,61 para o iK, e 79,33 e 89,58 para o INN, respectivamente, podendo-se considerá-los satisfatórios para o feijoeiro.

Esse comportamento do iK indica que há efeito residual do K aplicado na pastagem sobre o feijoeiro, com potencial ciclagem deste nutriente. Em solos com alto teor de matéria orgânica e argila, há predomínio CTC, com capacidade de adsorção do K, reduzindo possíveis perdas por lixiviação, mantendo-o no sistema. Também, este nutriente não tem uma dinâmica diretamente relacionada a

mineralização e atividade biológica quanto o N e P.

Uma planta bem nutrida em N, conforme Théliier-Huché et al. (1999), tende a absorver com maior eficiência os nutrientes P e K, desde que estejam disponíveis no solo em quantidades satisfatórias. Destacam que em condições normais de nutrição mineral no solo, a absorção de nutrientes pelas plantas se ajusta à velocidade de crescimento de novos tecidos e que a absorção de P e K depende da nutrição nitrogenada das plantas.

O diagnóstico da condição nutricional das plantas, de acordo com Maccari (2016) e Sartor (2009), pode ser obtido através do uso de modelos matemáticos e sua correta interpretação permite uma adequada adubação, sendo um método complementar a análise de solo e que permite melhor entendimento de possíveis efeitos inibitórios ao fornecimento de nutrientes às plantas advindos de desequilíbrios nutricionais do solo.

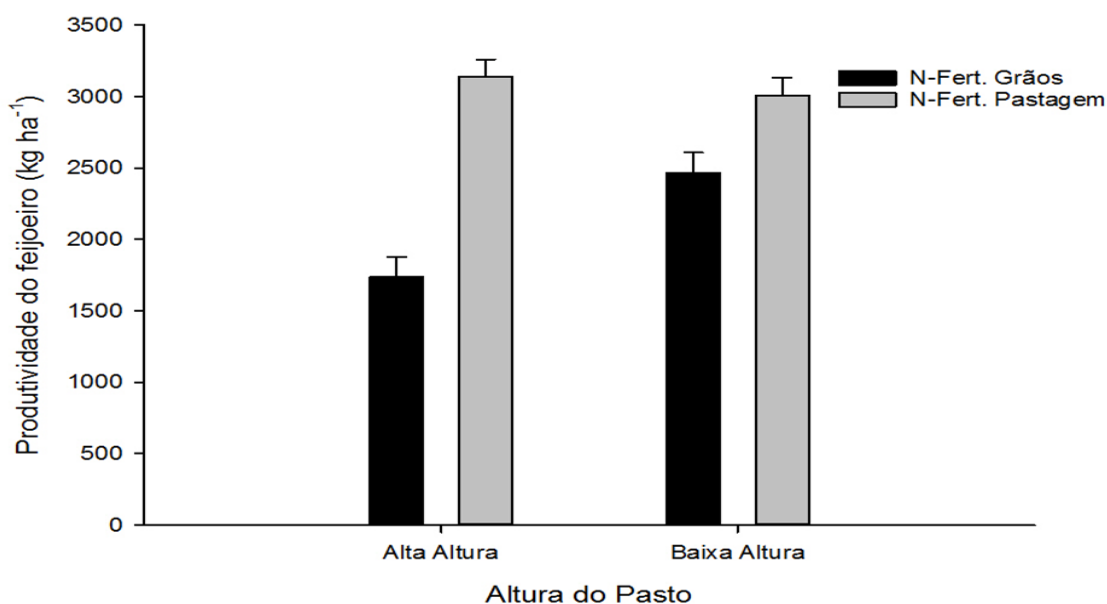
#### 4.3 PRODUTIVIDADE E COMPONENTES DO RENDIMENTO DO FEIJOEIRO

##### 4.3.1 Produtividade do feijoeiro

A produtividade do feijoeiro, cultivar IPR Tuiuiu, conduzido na safra 2016/2017 em sistema de ILP após pastagem de azevém apresentou efeito significativo de interação dupla entre o tempo de adubação de N e altura de pasto ( $P=0,0247$ ), além de efeito isolado das doses de N ( $P=0,0233$ ) (Anova - Anexo 23).

Ao avaliar a interação dupla entre o tempo de adubação de N e altura do pasto sobre feijoeiro, evidencia-se que a produtividade média foi maior no tratamento N-Fert. Pastagem quando conduzido em alta altura ( $3.136 \text{ kg ha}^{-1}$ ), todavia, não diferindo significativamente quando manejado em baixa altura ( $3.009 \text{ kg ha}^{-1}$ ). No tratamento N-Fert. Grãos há tendência de aumento da produtividade do feijoeiro do manejo do pasto de alta para baixa altura, de  $2.045$  para  $2.556 \text{ kg ha}^{-1}$ , portanto, há um comportamento contrário entre os tempos de adubação de N e as alturas de pasto (Figura 33). O potencial produtivo do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, conforme o IAPAR (2019), é de  $3.950 \text{ kg ha}^{-1}$ , que tende a ocorrer quando todos os fatores de produção são considerados ótimos, porém no experimento houve precipitação abaixo da média da região nos meses de fevereiro e março, o que corroborou a menor produtividade

verificada no experimento em relação ao potencial da cultivar.



**Figura 33** - Produtividade do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N e da altura de pasto. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

A maior produtividade do feijoeiro no tratamento-Fert. Pastagem está associada ao maior índice nutricional nitrogenado (INN) das plantas, com valor médio de 90, sendo de 92 e 87 para o pasto manejado em alta e baixa altura, respectivamente, considerados satisfatórios por Lemaire (1997), todavia, o INN foi de 79 no tratamento N-Fert. Grãos manejado em alta e baixa altura, sem distinção. O maior INN verificado no tratamento N-Fert. Pastagem, possivelmente, influenciou positivamente a produtividade do feijoeiro dado o melhor estado nutricional nitrogenado da cultura.

Quando a pastagem de azevém recebeu adubação nitrogenada na dose de 200 kg de N ha<sup>-1</sup>, resultou em maior quantidade de biomassa e de melhor qualidade, com teor de N na MS residual de 3,6% (BARRIGA, 2019), resultando em menor relação C/N, o que pode ter favorecido a atividade biológica pelo aporte de C e N, e com isso a mineralização do N ao longo do tempo, maximizando a ciclagem do nutriente bem como a sincronia entre a mineralização e a cinética de absorção pelo feijoeiro, resultando em melhor condição nutricional nitrogenada, e, conseqüentemente, maior produtividade.

A melhor condição para mineralização do N neste tratamento, também pode estar atrelada ao histórico da área, fator denominado de memória do solo, pois

a pastagem sempre foi manejada em alta altura e com adubação nitrogenada, depositando maior quantidade de resíduos sobre solo e aportando matéria orgânica, criando um ambiente favorável ao processo de mineralização e ciclagem do N. Cabe salientar que a área experimental é mantida sob plantio direto seguindo os preceitos de não revolvimento do solo, rotação de culturas e manutenção da palhada sobre o solo, além de um histórico de cultivos que confere entrada de C no sistema, o que favorece a atividade biológica, a ciclagem dos nutrientes e a fertilidade do solo.

Destaca-se também que após a retirada dos animais da pastagem, esta continuou se desenvolvendo por um período de seis dias até a dessecação, aportando significativa quantidade de biomassa residual no tratamento N-Fert. Pastagem manejado em alta altura,  $3,239 \text{ kg ha}^{-1}$ , e, de melhor qualidade, com teor de N de 3,6% (BARRIGA, 2019), corroborando a menor relação C/N. Esta condição, possivelmente, favoreceu a atividade biológica no solo ao longo do tempo, permitindo sincronismo entre o processo de mineralização do N e a cinética de absorção pela planta, havendo N disponível no momento de definição dos componentes do rendimento do feijoeiro, resultando em maior produtividade.

Cabe salientar que os tratamentos em suas respectivas parcelas vêm sendo utilizados desde o início do experimento, em 2012, em ILP, o que resultou em entradas e saídas de C e N, que estão atrelados a ciclagem de nutrientes, matéria orgânica do solo e sua qualidade, além da presença de microrganismos, o que pode produzir um efeito de memória do solo (ASSMANN et al., 2018), que pode explicar, em parte, as maiores produtividades do feijoeiro no tratamento N-Fert. Pastagem.

Ao avaliar a produtividade do feijoeiro após o consórcio de aveia e azevém como pastagem de inverno para ovinos em um sistema de ILP, Reichert (2012) observou influência do N aplicado na pastagem, independente da dose. Todavia, a aplicação de doses de N em cobertura no feijoeiro resultou em incremento na produtividade, com máxima eficiência técnica na dose de 170 e de 163 kg de N  $\text{ha}^{-1}$  na condição das plantas sob e sem pastejo, respectivamente.

Bona Filho (2002) avaliou a influência do pastejo e a contribuição da adubação nitrogenada residual da pastagem de inverno em consórcio de aveia, azevém e trevo branco, na produtividade do feijoeiro. Verificou que a presença dos animais em pastejo não comprometeu a produtividade do feijoeiro, e que a melhor combinação de aplicação do N para maior ganho de peso dos animais, produtividade



da pastagem e do feijoeiro foi a aplicação de 100 kg de N ha<sup>-1</sup> na pastagem e de 80 a 120 kg de N ha<sup>-1</sup> no feijoeiro. Também, evidenciou efeito positivo da adubação de sistemas em ILP, com transferência do N da pastagem para a cultura de grãos.

Levinski-Huf (2018) destaca que o efeito da memória do solo se reflete no tratamento N-Fert. Pastagem através da ciclagem de nutrientes ao longo do tempo, o que está atrelado a adubação nitrogenada e ao aporte de fezes e urina pelos animais, fazendo com que a microbiota do solo seja ativada, ciclando o N para a cultura subsequente. Todavia, destaca que quando se faz ensilagem de milho com a retirada da planta inteira, limita-se, de certa forma, o princípio da ciclagem de nutrientes advindo dos tratamentos N-Fert. Grãos, que receberam N durante o cultivo do milho, verificando que não houve a expressão do fator memória do solo capaz de aumentar a produtividade do feijoeiro das secas no tratamento N-Fert. Pastagem.

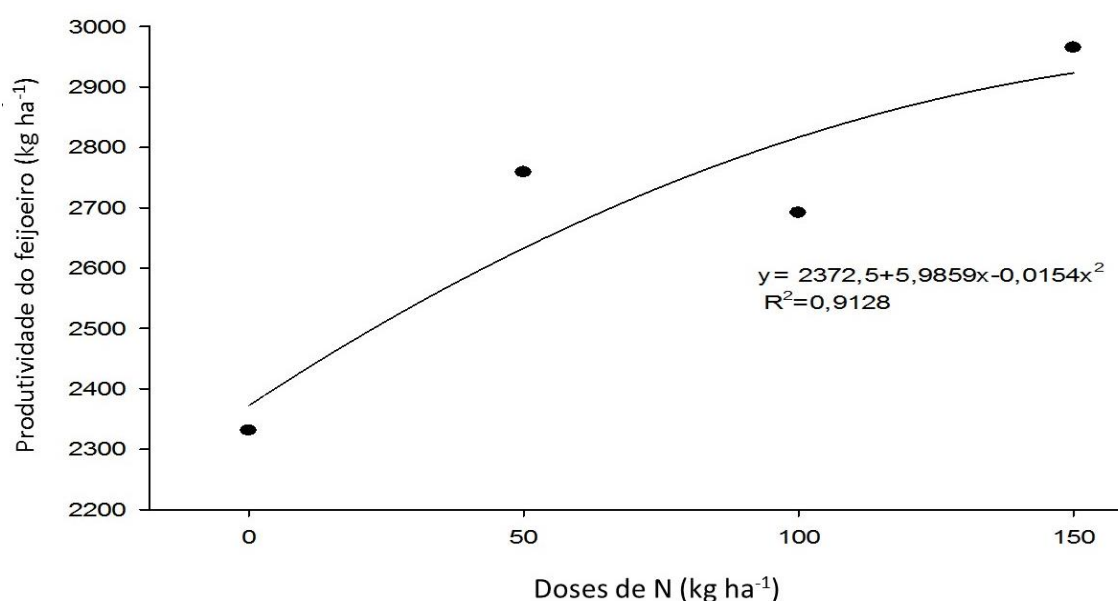
Evidencia-se que o N aplicado na pastagem de inverno passa para a cultura de grãos no verão, o que potencializa a produtividade do feijoeiro mediante ciclagem de nutrientes. Este efeito está atrelado aos preceitos de que em sistemas de ILP é fundamental adubar a pastagem para garantir maior produção de biomassa, aporte de resíduos sobre o solo e maior produção animal, com isso a ciclagem dos nutrientes, podendo-se alterar o manejo da adubação nitrogenada, adotando-se, para tal, a adubação de sistemas (ASSMANN; SOARES, 2016; ASSMANN et al., 2018; LOPES et al., 2009).

No tratamento N-Fert. Grãos e o pasto manejado em alta altura verificou-se as menores produtividades médias do feijoeiro, o que pode estar atrelado ao fato que a não adubação nitrogenada e a alta altura promoveram considerável produção de MS residual após o período de pastejo, 3.251 kg ha<sup>-1</sup>, todavia, com menor teor de N, 2,64% (BARRIGA, 2019), resultando em maior relação C/N dos resíduos depositados sobre o solo. Neste tratamento houve menor taxa de lotação animal, com menor aporte de fezes e urina em relação ao tratamento N-Fert. Pastagem, o que corroborou à imobilização do N pelos microrganismos, reduzindo a possibilidade de ciclagem e a disponibilidade para o feijoeiro.

A adubação nitrogenada da pastagem e efeito de pastejo proporcionam ciclagem de N entre a fase pastagem e a fase cultura de grãos, propiciando aporte de restos culturais de melhor qualidade que estimulam a atividade biológica e potencializam o efeito residual do N, assim como verificado por Aiolfi (2018), Bona

Filho (2002), Cassol et al. (2011), Levinski-Huf (2018), Maccari (2016) e Reichert (2012).

A análise da variância indicou efeito isolado das doses de N sobre a produtividade do feijoeiro, 2.330; 2.759; 2.691 e 2.965 kg ha<sup>-1</sup> para as doses zero; 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 34). Nas parcelas em que o feijoeiro não recebeu adubação nitrogenada, houve, significativamente, menor produtividade, o que indica que a adubação nitrogenada promove incremento na produtividade do feijoeiro.



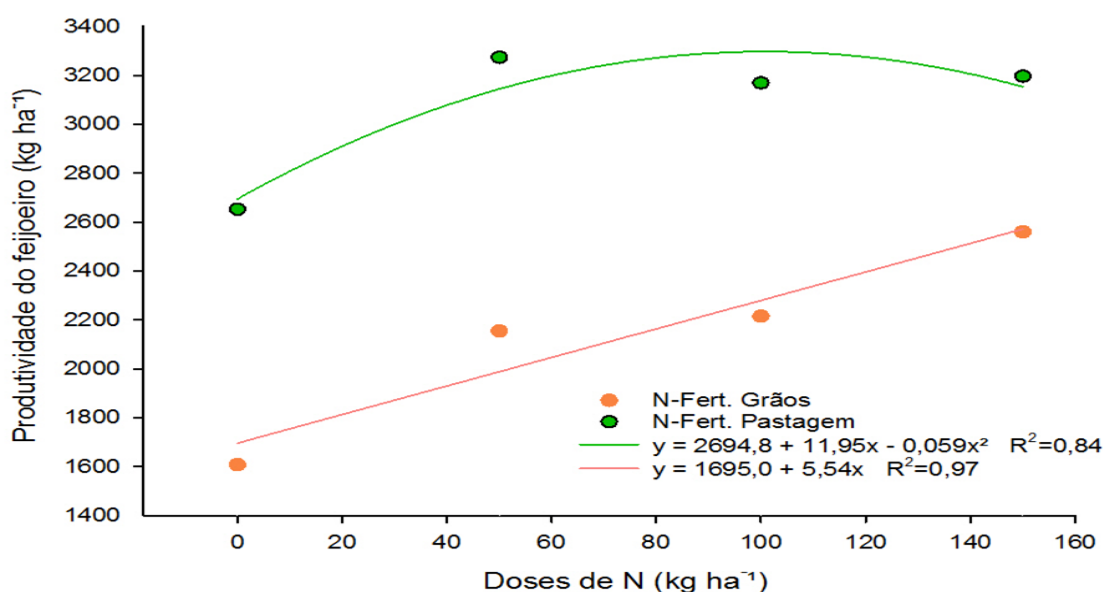
**Figura 34** - Produtividade do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função das doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

A aplicação de 50 kg de N ha<sup>-1</sup> já permitiu ao feijoeiro incremento na produtividade em relação a dose zero, não diferindo significativamente das doses 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup> (Figura 34). Isto indica que é preponderante fazer a adubação nitrogenada do feijoeiro conduzido em sistemas de ILP, porém, pode-se utilizar doses menores. A adubação nitrogenada do feijoeiro realizada no estágio V3, possivelmente, promoveu melhor estado nutricional nitrogenado das plantas, o que resultou em condição nutricional adequada à definição dos componentes do rendimento e com isso incremento na produtividade.

Conforme Assmann e Soares (2016), é importante manejar o sistema de ILP seguindo os preceitos da adubação de sistemas, não realizado a adubação de cada cultura individualmente, além do adequado manejo da pastagem e da

intensidade de pastejo, podendo-se, neste caso, apostar na ciclagem dos nutrientes no sistema, especificamente o N, visando o aporte à cultura subsequente e com isso redução nas doses de N no verão, corroborando a menores perdas e custo com esse nutriente.

A Figura 35 apresenta a produtividade do feijoeiro em função do tempo de adubação de N e das doses de N, fatores importantes para a discussão técnica de manejo da pastagem, da cultura de grãos e da adubação nitrogenada em ambos, e, principalmente, para verificar o efeito residual do N entre as fases do sistema de cultivo.



**Figura 35** - Produtividade do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N e das doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Ao avaliar o tratamento N-Fert. Pastagem em função das doses de N, evidencia-se uma função matemática de regressão quadrática, indicando que há incremento na produtividade do feijoeiro com o aumento na dose de N até aproximadamente 100 kg ha<sup>-1</sup>. Cabe salientar que a maior produtividade do feijoeiro no experimento foi obtida com a aplicação de 50 kg de N ha<sup>-1</sup> no feijoeiro e 200 kg de N ha<sup>-1</sup> na pastagem. Levinski-Huf (2018) evidenciou o mesmo comportamento na produtividade do feijoeiro das secas em função das doses de N.

Doses de N consideradas elevadas, como 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>, podem favorecer o maior crescimento das plantas, com maior estatura e aporte de biomassa, podendo resultar em acamamento, o que se reflete sobre a produtividade da cultura. Também, a maior produção de biomassa da parte aérea restringe a entrada de

radiação solar no interior do dossel, havendo menor potencial fotossintético do terço inferior das plantas, com isso queda das folhas e menor número de vagens (EMBRAPA, 2014).

No tratamento N-Fert. Grãos evidencia-se incremento na produtividade do feijoeiro com o aumento nas doses de N, ajustando para este uma equação de regressão linear, ou seja, quanto maior a dose de N, maior a produtividade do feijoeiro. Quando não se realiza a adubação nitrogenada seja da pastagem ou do feijoeiro, evidencia-se baixa produtividade de pasto (BARRIGA, 2019) e do feijoeiro, o que é esperado devido a deficiência de N no sistema.

Cabe destacar que mesmo com a aplicação de 150 kg de N ha<sup>-1</sup> no feijoeiro no tratamento N-Fert. Grãos, a produtividade foi inferior (2.560 kg ha<sup>-1</sup>) à quando se procedeu a adubação nitrogenada da pastagem e não se adubou o feijoeiro (2.652 kg ha<sup>-1</sup>). Diante do exposto, pode-se afirmar que há efeito residual do N aplicado na pastagem para a cultura de grãos subsequente, havendo, definitivamente, ciclagem do N entre as fases de um sistema de ILP. Esta constatação é fundamental para o manejo da adubação nitrogenada em sistemas de ILP, podendo-se proceder a adubação de sistemas sem a necessidade de aplicação do N, especificamente, na cultura de grãos.

Bona Filho (2002) ao avaliar a produtividade do feijoeiro em sistema de ILP evidenciou no consórcio de aveia mais azevém, com ou sem trevo, que a produtividade do feijoeiro aumentou quase que linearmente com as doses de N, com pequena diferença na presença ou ausência de trevo. Também, a produtividade do feijoeiro aumentou quase que linearmente com as doses de N nas parcelas com e sem pastejo por ovinos, indicando que a presença dos animais não prejudicou a cultura. A produtividade do feijoeiro com a utilização de 300 kg de N ha<sup>-1</sup> na pastagem foi semelhante quando da aplicação de zero kg de N ha<sup>-1</sup> na pastagem e cerca de 100 kg de N ha<sup>-1</sup> no feijoeiro, todavia, destaca que a adubação nitrogenada da pastagem permite maior produção de pasto e carga animal, resultando em ganho de peso e produtividade animal, e que este manejo aporta N suficiente para adequada produção do feijoeiro sem adubação nitrogenada, indicando haver efeito residual do N da pastagem como fator preponderante para a produtividade do feijoeiro.

Esses resultados ocorrem devido a integração que há no sistema entre a produção de pasto e a produção de grãos, o que se deve ao processo de adubação

da pastagem, que bem nutrida resulta na produção de MS em quantidade e qualidade, logo, o processo de pastejo estimula o crescimento da pastagem que absorve mais nutrientes do solo, somado ao aporte de fezes e urina dos animais, promove aporte de C e N, estimulando a atividade biológica e com isso a manutenção de maiores teores de C e N no solo, atuando como reserva de N. Ao implantar, na sequência, a cultura de grãos, a atividade biológica promove a decomposição dos restos culturais e da matéria orgânica, mineralizando o N que pode ser imobilizado na biomassa microbiana ou absorvido pela cultura de grãos, potencializando, desta forma, a ciclagem de N entre as fases do sistema, bem como a produtividade da cultura, com menor necessidade de aporte de N mineral, corroborando à redução dos custos de produção e do impacto ambiental, o que torna o sistema sustentável ao longo do tempo.

#### 4.3.2 Matéria seca do feijoeiro

A análise da variância da MS do feijoeiro indicou diferença significativa e interação dupla entre dias após a semeadura (DAS) e tempo de adubação de N ( $P=0,0000$ ), entre dias após a semeadura (DAS) e altura de pasto ( $P=0,0430$ ), entre tempo de adubação de N e doses de N ( $P=0,0093$ ), além de efeito isolado de todos os fatores avaliados (Anova - Anexo 24).

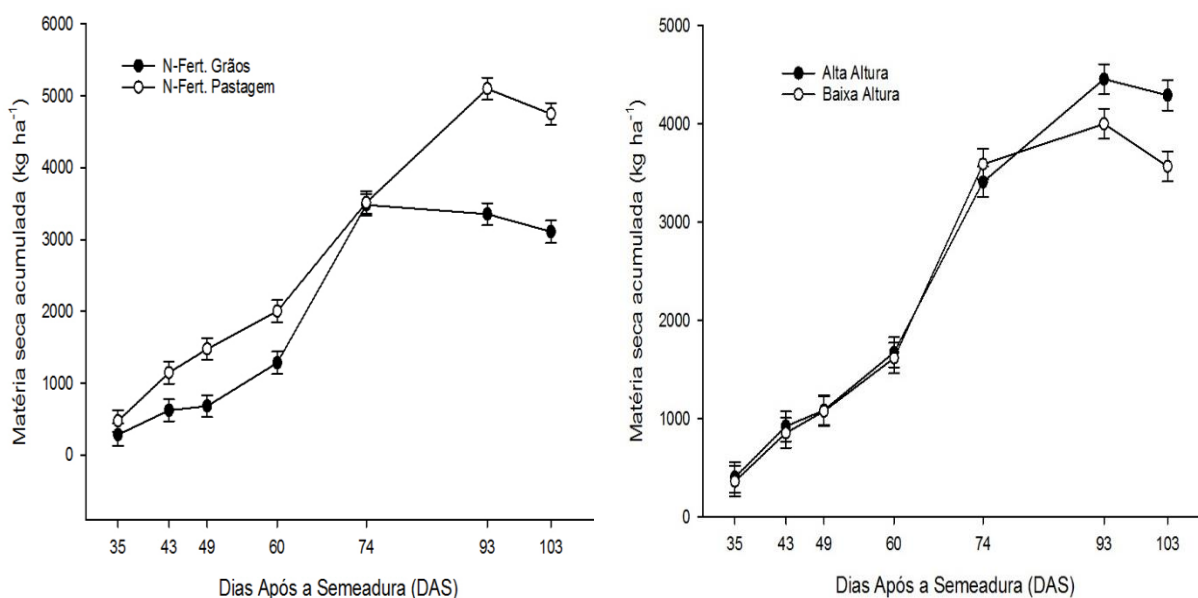
Ao avaliar os DAS e o tempo de adubação de N, evidencia-se que o acúmulo de MS do feijoeiro foi maior no tratamento N-Fert. Pastagem em praticamente todo o período de avaliação, exceto aos 35 e 74 DAS, momento em que o tratamento N-Fert. Grãos não diferiu significativamente (Figura 36).

O maior acúmulo de MS do feijoeiro nos tratamentos N-Fert. Pastagem corroboram a maior produtividade e índice nutricional nitrogenado (INN) neste tratamento. Este é mais um importante parâmetro de planta que confirma que a adubação nitrogenada da pastagem apresenta efeito residual, podendo o N passar de uma fase do sistema para a outra promovendo aporte de biomassa no feijoeiro com resultado direto sobre a fotossíntese, potencializando a produção de MS e grãos. Cabe destacar que neste tratamento houve maior produção de MS residual da pastagem ( $2.315 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e de melhor qualidade (BARRIGA, 2019), promovendo incremento no teor de N mineral no solo pela mineralização dos resíduos,

corroborando à ciclagem de N no sistema.

A queda no teor de MS acumulada do feijoeiro ao final do ciclo de cultivo se deve ao fato que há perdas de folhas pelo processo de senescência natural da planta, todavia, evidencia-se que este processo inicia antes no tratamento N-Fert. Grãos, o que permite afirmar que a maior disponibilidade de N mineral no solo e o maior INN das plantas permitem manter o aparato fotossintético por mais tempo e com isso acumular MS, corroborando ao enchimento de grãos e produtividade da cultura.

A Figura 36 apresenta o acúmulo de MS do feijoeiro em função dos DAS e altura de pasto. Evidencia-se que o acúmulo de MS do feijoeiro foi semelhante entre a alta e a baixa altura de pasto, exceto aos 93 e 103 DAS, quando o tratamento alta altura resultou em maior acúmulo de MS. Este resultado pode estar atrelado ao fato que a pastagem manejada em alta altura produziu maior quantidade de MS residual,  $3.239 \text{ kg ha}^{-1}$  (BARRIGA, 2019), que pode ter promovido efeito sobre a mineralização do N, disponibilizando-o ao feijoeiro de acordo à cinética de absorção pelas plantas, o que resultou em melhor estado nutricional nitrogenado, corroborando à maior produtividade da cultura.

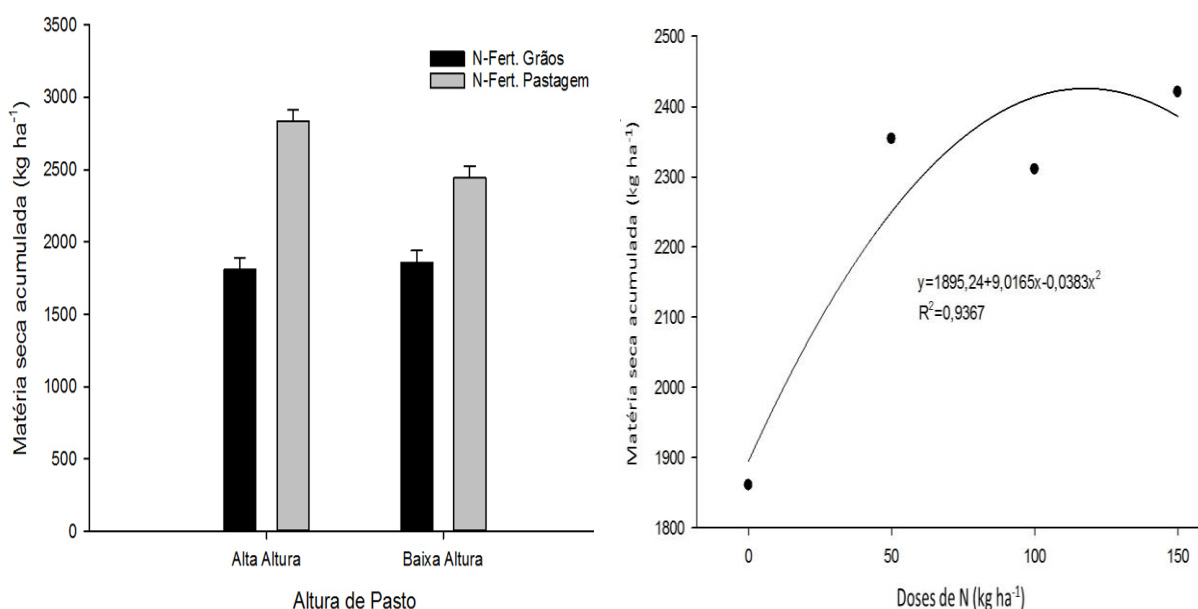


**Figura 36** - Matéria seca do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função dos dias após a semeadura e tempo de adubação de N. Matéria seca do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função dos dias após a semeadura e altura de pasto. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

A Figura 36 apresenta, também, o acúmulo da MS do feijoeiro em função do tempo de adubação de N e altura de pasto. Evidencia-se que no tratamento N-Fert.

Pastagem há maior produção de MS acumulada do feijoeiro, principalmente no tratamento alta altura, o que pode estar atrelado ao fato que mesmo com menor intensidade de pastejo, e, conseqüentemente, menor aporte de fezes e urina pelos animais, a pastagem ao receber adubação nitrogenada resultou em plantas melhor nutridas, apresentando, ao final do ciclo de pastejo, teor de N de 3,6% (BARRIGA, 2019), produzindo restos culturais de melhor qualidade, favorecendo a ciclagem do N em velocidade compatível à cinética de absorção pelo feijoeiro, corroborando a melhor nutrição da planta (Figura 28), produção de MS acumulada (Figura 36) e produtividade (Figura 33).

No tratamento N-Fert. Grãos a produção de MS acumulada do feijoeiro foi menor, tanto com o pasto manejado em alta como em baixa altura (Figura 37). Este resultado corrobora a menor produtividade do feijoeiro quando da adubação nitrogenada na cultura de grãos em detrimento à pastagem (Figura 33). Assim, a menor produção de MS acumulada no tratamento N-Fert. Grãos resultou em menor produção de biomassa da parte aérea, com menor aparato fotossintético para a produção de fotoassimilados, e, conseqüentemente, para manutenção do dossel vegetativo e da produtividade da cultura.



**Figura 37** - Matéria seca acumulada do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N e da altura de pasto. Matéria seca acumulada do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função das doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Alves et al. (2015) indicam que em sistemas de ILP uma maior

quantidade de resíduos na superfície do solo e de raízes pode promover maior quantidade de nutrientes à serem ciclados entre as fases do sistema, destacando serem os resíduos um relevante meio de transporte de nutrientes da fase pastagem para a fase lavoura. Estas evidências permitem afirmar que quando se procede a adubação nitrogenada da pastagem no inverno, o N passa a ciclar no sistema e com isso ter influência sobre a cultura subsequente, sendo mineralizado em velocidade compatível à cinética de absorção pela planta, permitindo acumular mais MS da parte aérea e realizar fotossíntese, corroborando à produção de fotoassimilados, manutenção da parte aérea e da produtividade do feijoeiro.

As doses de N apresentaram efeito isolado sobre a produção de MS acumulada do feijoeiro ( $P=0,3091$ ). De forma sucinta, a aplicação de N resultou em incremento na produção de MS acumulada pelo feijoeiro (Anova - Anexo 3).

A produção de MS acumulada do feijoeiro em função das doses de N apresentou tendência semelhante à produtividade, com incremento em função das doses. Na Figura 37 pode-se evidenciar que o menor acúmulo de MS do feijoeiro ocorreu na dose zero kg de N ha<sup>-1</sup>, não havendo diferença significativa entre as doses 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>.

A aplicação das doses de N ocorreu quando o feijoeiro se encontrava no estágio V3, momento inicial de definição dos componentes do rendimento, sendo que a aplicação de 50 kg de N ha<sup>-1</sup> já favoreceu a fisiologia da planta, indicando que em sistemas de ILP, mesmo em baixas doses de N, há maior acúmulo de MS e produtividade do feijoeiro, o que corrobora aos preceitos da adubação de sistemas e a ciclagem do N entre os cultivos.

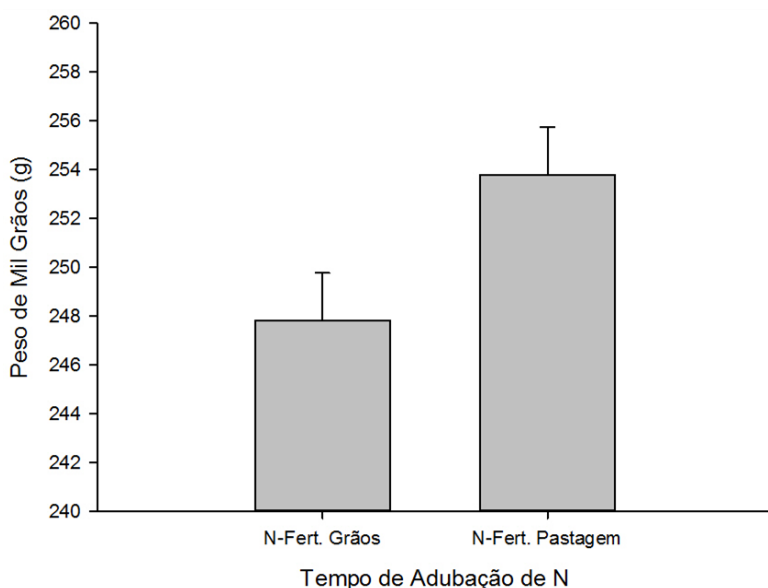
Não houve diferença significativa entre a produção de MS acumulada do feijoeiro nos tratamentos que receberam adubação nitrogenada, o que corrobora aos resultados evidenciados na produtividade, indicando que as doses de 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup> podem ser exacerbadas quanto a necessidade de N da cultura, e, que, possivelmente, parte do N aplicado não tenha sido absorvido pelo feijoeiro, impactando negativamente sobre o custo de produção e meio ambiente. A adubação nitrogenada do feijoeiro em doses adequadas permite aporte de MS à cultura, corroborando ao processo de fotossíntese e com isso a obtenção de elevadas produtividades, maximizando a rentabilidade do sistema.



### 4.3.3 Peso de mil grãos do feijoeiro

A análise da variância do peso de mil grãos (PMG) do feijoeiro apresentou diferença significativa e efeito isolado (Anova - Anexo 25) do tempo de adubação de N ( $P=0,0384$ ). O maior PMG foi verificado no tratamento N-Fert. Pastagem, com valor médio de 253,8 g, já no tratamento N-Fert. Grãos o PGM médio foi de 247,8 g (Figura 38).

Segundo o IAPAR (2019), o valor médio do PMG do feijoeiro cultivar IPR Tuiuiu é de 227 g, o que permite afirmar que os tratamentos aplicados no experimento permitiram maior PMG em relação ao referencial do detentor da cultivar, indicando que sistemas de ILP bem manejados podem promover melhorias inclusive nos componentes do rendimento das plantas, podendo resultar em maiores produtividades. Cabe destacar que o PMG geral ao experimento foi de 250,8 g.



**Figura 38** - Peso de mil grãos (PMG) do feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Cabe destacar que o PMG é um importante parâmetro do componente do rendimento e está associado a cada cultivar quando manejado dentro de condições agronômicas adequadas, apresentando valores específicos, como por exemplo 227 g para a cultivar IPR Tuiuiu, 240 g para a cultivar IPR Campos Gerais, 290 g para a cultivar IPR Tangará e 290 g para a cultivar IAC Milênio (IAPAR, 2019; IAC, 2019).

Levinski-Huf (2018) evidenciou diferença significativa e maior valor de

PMG para a cultivar IAC Milênio no tratamento N-Fert. Pastagem em relação ao tratamento N-Fert. Grãos, com valores médios de 270 g e 261 g, respectivamente. Da mesma forma como neste experimento, não verificou efeito das doses de N sobre o PMG.

Ao avaliar a população de plantas e doses de N em feijoeiro, Souza et al. (2014) evidenciaram diferença significativa do PMG em função das doses de N (0; 40; 80 e 120 kg de N ha<sup>-1</sup>), com valor médio de 250 g, todavia, destacam que os principais componentes do rendimento do feijoeiro não foram influenciados pelas doses de N.

Ao avaliar a adubação nitrogenada em sistema de ILP, Sandini (2009) evidenciou efeito do N sobre o PMG quando a adubação nitrogenada foi realizada sobre a cultura de verão, mas que não respondeu em produtividade. Bona Filho (2002) também não verificou efeito significativo de doses de N aplicadas na pastagem e na cultura do feijoeiro sobre o PMG.

Pacentchuk (2016) avaliando a resposta do feijoeiro ao N em um sistema de ILP, observou efeito residual do N aplicado na pastagem sobre o feijoeiro, porém, sendo o efeito foi suprimido quando do uso de altas doses na cultura de verão. A aplicação de N em cobertura no feijoeiro, segundo Soratto et al. (2004), não reflete em grande variação nos componentes do rendimento grãos por vagem e PMG.

Em um experimento de ILP, Sandini (2009) ao avaliar doses de N sobre os componentes do rendimento do feijoeiro evidenciou que nas áreas com pastejo o PMG foi superior as áreas sem pastejo, atribuindo essa diferença a menor quantidade de biomassa presente nas áreas pastejadas e a maior ciclagem de nutrientes durante o ciclo do feijoeiro, com aumento na disponibilidade de nutrientes para a cultura, especialmente o N.

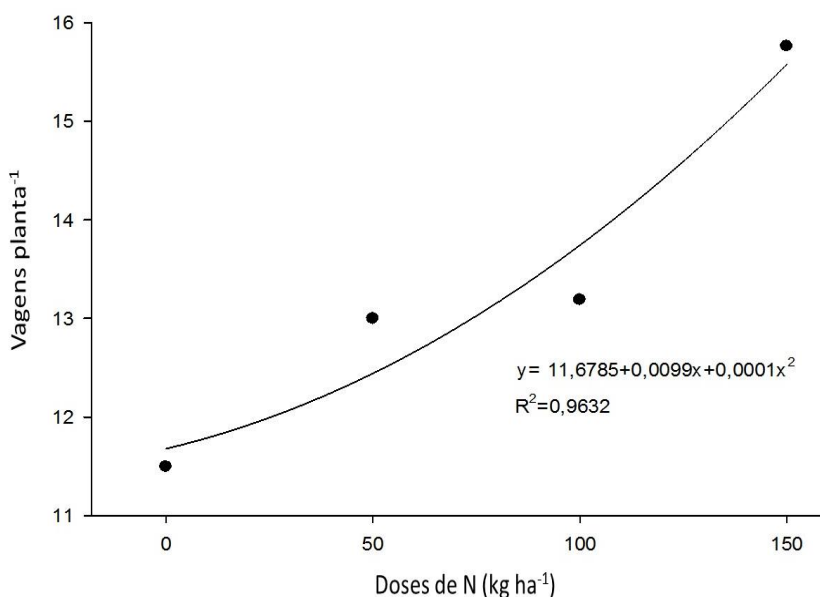
O tratamento N-Fert. Pastagem pode ter promovido melhor ambiente nutricional para o feijoeiro, resultando em mineralização do N ao longo do tempo que, possivelmente, associada a cinética de absorção de N pelas plantas, resultou em maior PMG.

#### 4.3.4 Número de vagens por planta

A análise da variância do componente do rendimento número de vagens

por planta do feijoeiro evidenciou efeito isolado (Anova - Anexo 26) das doses de N ( $P=0,0106$ ). O maior valor médio foi de 15,76 vagens por planta na dose de 150 kg de N  $\text{ha}^{-1}$ , apresentando diferença significativa para as doses 100; 50 e zero kg de N  $\text{ha}^{-1}$ , com 13,19; 13,00 e 11,49 vagens por planta, respectivamente. Mesmo não havendo diferença significativa para as menores doses de N, evidencia-se que a ausência de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro contribuiu fortemente para a redução deste importante componente do rendimento (Figura 39).

Ao avaliar o número de vagens por planta, Sandini (2009) destacou não haver influência do N aplicado na pastagem de inverno sobre este parâmetro, todavia, quando da adubação nitrogenada no feijoeiro, evidenciou aumento no número de vagens por planta com as doses de N. Atribuiu esse resultado ao fato que a adubação nitrogenada promove plantas maiores e com maior quantidade de ramificações, que resultam em maior número de estruturas reprodutivas, maximizando o número de vagens por planta.



**Figura 39** - Vagens por planta de feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função das doses de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Levinski-Huf (2018) evidenciou interação entre o tempo de adubação de N e altura do pasto em um experimento de ILP, além do efeito isolado das doses de N. Destaca que no tratamento N-Fert. Grãos e a pastagem manejada em alta altura houve menor número de vagens por planta (13,43), o que possivelmente está associado a um ambiente deficiente em nutrientes na fase pastagem, com reflexos na

cultura de grãos. Quando a pastagem foi manejada em baixa altura e sem adubação nitrogenada, o número de vagens por planta (16,10) não diferiu do tratamento N-Fert. Pastagem em alta (15,90) e baixa altura (15,20). Esse comportamento pode estar atrelado a deposição de fezes e urina pelos animais, principalmente nas parcelas baixa altura, e pela adubação de N nas parcelas alta altura, proporcionando melhor qualidade estrutural ao azevém, com reflexos positivos sobre esse componente de rendimento do feijoeiro.

Quando avaliou as doses de N, Levinski-Huf (2018) observou menor número de vagens por planta na dose zero kg de N ha<sup>-1</sup>, indicando que a adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro foi fundamental sobre este componente do rendimento. Bona Filho (2002) observou número de vagens por planta variado de 9,8 a 17,18 com o uso de zero, 100; 200 e 300 kg de N ha<sup>-1</sup> na pastagem de inverno em um sistema de ILP.

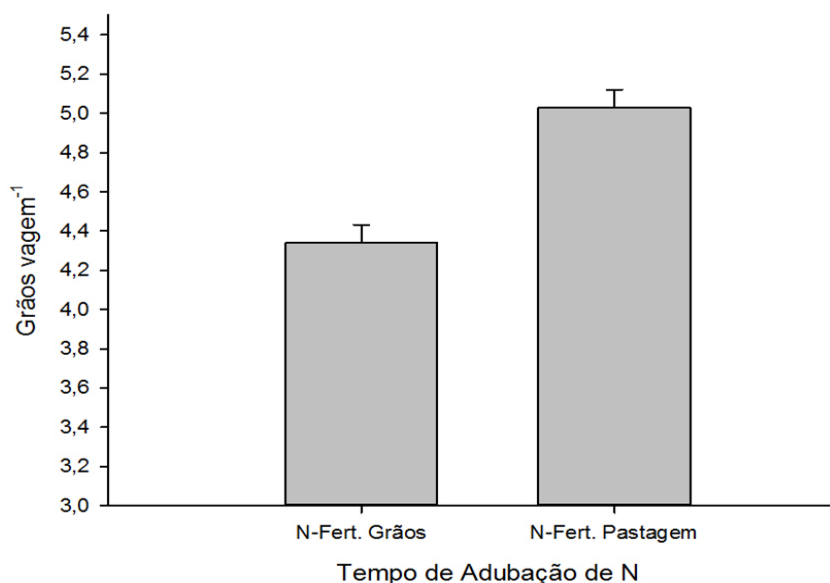
Conforme evidenciado no presente experimento e por Levinski-Huf (2018), a adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro é fundamental para maximizar o número de vagens por planta, todavia, cabe destacar que mesmo não havendo diferença significativa, ao avaliar os tratamentos N-Fert. Pastagem e N-Fert. Grãos, observa-se tendência de que o tratamento N-Fert. Pastagem possa promover melhores resultados para o número de vagens por planta, corroborando ao evidenciado por Bona Filho (2002).

#### 4.3.5 Número de grãos por vagem

Para o componente de rendimento do feijoeiro número de grãos por vagem evidenciou-se efeito isolado (Anova - Anexo 27) do tempo de adubação de N (P=0,0000). No tratamento N-Fert. Pastagem evidenciou-se valor médio de 5,03 grãos por vagem e no tratamento N-Fert. Grãos 4,34 grãos por vagem (Figura 40).

Levinski-Huf (2018) também evidenciou efeito significativo para o tempo de adubação de N, destacando que as parcelas onde a adubação nitrogenada foi aplicada somente na pastagem houve maior número de grãos por vagem em relação as parcelas em que somente o feijoeiro foi adubado. Esse resultado permite afirmar sobre o efeito residual do N da fase pastagem para a fase cultura de grãos, e que a presença dos animais sob pastejo é fundamental para potencializar a ciclagem do N

entre as fases do sistema.



**Figura 40** - Número de grãos por vagem de plantas de feijoeiro, cv. IPR Tuiuiu, na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N. Abelardo Luz, SC. UTFPR, Câmpus Pato Branco, 2019.

Todavia, Sandini (2009) não verificou efeito do tempo de adubação de N e das doses de N sobre o número de grãos por vagem em um sistema de ILP, atribuindo o resultado ao fato que o número de grãos por vagem é uma característica de alta herdabilidade e pouco influenciada pelo ambiente. Da mesma forma, Bona Filho (2002) não observou influência das doses de N aplicadas na pastagem e no feijoeiro sobre o número de grãos por vagem.

Ao avaliar os componentes do rendimento do feijoeiro sob diferentes densidades de plantio, Silva et al. (2007) evidenciaram valores de 5,6 a 5,8 grãos por vagem, indicando, assim como Sandini (2009), este ser um parâmetro de alta herdabilidade para o feijoeiro.

Ao avaliar o número de grãos por vagem do feijoeiro em função da adubação nitrogenada de cobertura em dois sistemas de manejo no ano de 2003, Farinelli et al. (2006) evidenciaram menores valores de grãos por vagem, 3,90 e 4,00, com a aplicação de 160 e 120 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente, e maiores valores, 4,80 e 4,90, com a aplicação de 80 e 40 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A adubação nitrogenada do feijoeiro em doses moderadas promoveu maior número de grãos por vagem, todavia doses elevadas ou a ausência de adubação nitrogenada resultam em menores valores para este componente do rendimento.

Evidencia-se que o tratamento N-Fert. Pastagem promove um ambiente nutricional de solo adequado para o feijoeiro, permitindo ganhos em termos de produção de pasto e de peso animal no inverno, além da ciclagem do N para a cultura de grãos no verão, maximizando os componentes do rendimento. Desta forma, a adubação de sistemas torna-se viável, pois permite benefícios ao manejo das culturas, redução do custo de produção e dos impactos ambientais, bem como maximiza a produtividade da cultura de grãos subsequente à pastagem.

## CONCLUSÃO

A adubação nitrogenada da pastagem de azevém promove incremento no teor de amônio, nitrato e N mineral do solo, principalmente na camada de 0 a 5 cm, não resultando em lixiviação de nitrato a 60 cm de profundidade.

A adubação nitrogenada do feijoeiro aumentou o teor de amônio, nitrato e N mineral no solo, principalmente na camada de 0 a 10 cm, não resultando em lixiviação de nitrato a 60 cm de profundidade.

No momento da colheita do feijoeiro houveram elevados teores de amônio e N mineral no solo e moderados teores de nitrato na camada de 0 a 10 cm.

Os maiores teores de amônio, nitrato e N mineral no solo foram evidenciados no tratamento N-Fert. Pastagem, indicando haver efeito residual da fase pastagem para a fase cultura de grãos.

Os teores de N e K nas plantas de feijoeiro reduziram com o acúmulo de MS, resultando em efeito de diluição, já o teor de P não apresentou efeito de diluição.

A curva de diluição e equação proposta por Lemaire e Salette (1984) para espécies de plantas C3 não se mostrou adequada para o diagnóstico do estado nutricional nitrogenado do feijoeiro neste experimento.

A adubação nitrogenada do feijoeiro resultou em INN satisfatório, todavia, a ausência de adubação nitrogenada resultou em INN insuficiente.

O manejo do pasto em alta altura promove maiores teores de amônio no solo e INN do feijoeiro, indicando que os restos culturais da pastagem são importantes na ciclagem do N da fase pastagem para a fase cultura de grãos.

O elevado iP do feijoeiro indica excedente teor de P no feijoeiro, resultando em consumo de luxo.

A produtividade do feijoeiro foi maior no tratamento N-Fert. Pastagem associado a adubação nitrogenada do feijoeiro, havendo efeito quadrático em função das doses de N, já a produtividade do feijoeiro aumentou de forma linear com as doses de N no tratamento N-Fert. Grãos, todavia, inferior ao tratamento N-Fert. Pastagem.

A aplicação de 150 kg de N ha<sup>-1</sup> no tratamento N-Fert. Grãos resultou em produtividade do feijoeiro inferior a dose zero kg de N ha<sup>-1</sup> no tratamento N-Fert. Pastagem.

A produção de MS acumulada do feijoeiro foi maior no tratamento N-Fert. Pastagem.

O componente do rendimento peso de mil grãos foi maior em relação ao valor estimado para a cultivar, sobretudo no tratamento N-Fert. Pastagem. O número de vagens por planta foi maior com a aplicação de 150 kg de N ha<sup>-1</sup>. O número de grãos por vagens foi maior no tratamento N-Fert. Pastagem.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo faz parte de um projeto em sistema de integração lavoura-pecuária de longa duração, que tem o objetivo de verificar a combinação da adubação de sistemas com o manejo da pastagem sobre o comportamento dos nutrientes no solo, a nutrição e produção de pastagens e culturas de grãos em um sistema de rotação de culturas, buscando a ciclagem dos nutrientes entre os componentes e as fases do sistema.

Nessa Tese constam os resultados do quinto ano agrícola após a implantação do sistema de ILP, em meados de 2012, à época buscava-se verificar a hipótese de que há efeito residual de nutrientes no solo proporcionado pela interação entre a adubação nitrogenada nas diferentes fases de cultivo em função de diferentes intensidades de pastejo, o que se confirmou com o decorrer dos diversos trabalhos já realizados.

Em sistema de ILP tem se verificado que a ciclagem de nutrientes entre as fases do sistema tem sido bastante eficiente, que os nutrientes aplicados via adubação na fase pastagem estão sendo utilizados, resultando em aumento na produção de forragem, e, conseqüente, produção animal, e que também estão promovendo ganhos em produtividade na cultura de grãos subsequente, o que permite alçar voos sobre a adubação de sistemas, pensando-se no sistema de produção e não somente na cultura em questão.

E isso ocorre em função das inter-relações no sistema solo-planta-animal. Especificamente em relação ao comportamento dos nutrientes no solo, tem se evidenciado efeito residual do N da adubação da pastagem sobre a cultura subsequente, influenciado pelo manejo da intensidade de pastejo, que proporcionam, em conjunto, um melhor ambiente de nutrição de plantas e de microrganismos no solo.

O efeito residual do N da adubação da pastagem no inverno se expressa no comportamento do amônio e nitrato no solo até a cultura de grãos, onde cria-se uma interface entre os sistemas de cultivo quando em ILP, com redução das perdas de N por volatilização da amônia e lixiviação do nitrato, mediado pelos microrganismos do solo, os quais promovem a decomposição dos resíduos, associado a deposição de fezes e urina pelos animais, o que potencializa a ciclagem dos nutrientes, permitindo

posterior absorção pelas plantas, num sistema autorregulado.

Evidencia-se que a adubação da cultura de grãos é fundamental, todavia, devido a ciclagem de nutrientes existente entre as fases do sistema, obtêm-se redução dos custos de produção e impactos ambientais, o que vem a trazer benefícios econômicos e ecológicos. Também, tem se evidenciado que a presença dos animais em pastejo, quando adequadamente manejados, ou seja, com correta taxa de lotação e adubação da pastagem, não causa degradação do solo, quebrando paradigmas.

A pastagem bem adubada e manejada resulta em produção de pasto em quantidade e qualidade, promovendo ganho de peso dos animais, doravante, permite restos culturais e nutrientes que podem ser disponibilizados à cultura de grãos subsequente, resultando de forma eficiente na ciclagem de nutrientes, com benefícios para ambos cultivos.

Enfim, os sistemas de ILP de longa duração que promovem o aporte de resíduos vegetais, crescimento de raízes no perfil do solo e plantas vegetando o ano todo, com o uso adequado da adubação de sistemas e a presença constante dos animais, favorecendo a entrada de C e N, contribuem sobremaneira à maior atividade biológica, potencializando a ciclagem dos nutrientes e reduzindo potenciais perdas.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDER, M. Mineralization and immobilization of nitrogen. In: ALEXANDER, M. (ed). **Introduction to soil microbiology**, 4. ed. New York: John Willey, 1967.

ALVES, R. C.; et al. Suprimento de nitrogênio para culturas de verão pela aplicação antecipada em azevém pastejado por Ovinos. **Rev. Bras. Ciên. Solo**, v.39, p.1406-1415, 2015.

AITA, C.; HUBNER, A. P.; ANTONIOLLI, A. I.; FRIES, R M. **Microbiologia agrícola**. Apostila didática, mimeografado. Santa Maria, 2003.

AIOLFI, R. B. **Intensidade de pastejo e épocas de adubação nitrogenada em sistemas integrados de produção agropecuária**. Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pato Branco, 2018.

AMÉRICO, L. F. **Índice de nutrição nitrogenada em pastos perenes de inverno cultivados puros ou em consórcio**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Lages, 2017.

ANDREOLLA, V. R. M.; MORAES, A.; BONA FILHO, A.; SANDINI, I. E; BONINI, A.; DEISS, L. Pastejo e nitrogênio no azevém sobre a qualidade física do solo e produtividade do feijão. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p.11-26, 2015.

ANGHINONI, I.; ASSMANN, J.M. Ciclagem de nutrientes em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e implicações na adubação. In: **III Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil**. Synergismus Scyentifica, UTFPR, Pato Branco, 2011.

ANGHINONI, I., ASSMANN, J.M.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E.; CARVALHO, P. C. F. Ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. **Informações Agrônomicas**, v.136, p.1-10, 2011.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. In: ARAUJO, A. P.; AVELAR, B. J. R. (eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**, 8ª ed., UFV, Viçosa, p.221-278, 2013.

ARGENTA, G. et al. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.4, p.519-527, 2002.

ASSMANN, T. S. **Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema de plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio**. 2001. Tese (Doutorado em Agronomia - Produção vegetal) - Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Universidade Federal do Paraná,

Curitiba, 2001.

ASSMANN, T. S.; ASSMANN, A. L.; ASSMANN, J. M. Ciclagem de nutrientes e adubação. In: ASSMANN, A.L.; SOARES A.B.; ASSMANN, T.S. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária para a agricultura familiar**. Londrina: IAPAR, p.16-24, 2008.

ASSMANN, T. S.; CASSOL, L. C.; ASSMANN, A. L. Manejo da fertilidade do solo (ciclagem de nutrientes) em sistemas de integração lavoura-pecuária. I Encontro de Integração Lavoura Pecuária no Sul do Brasil, (2002). **Anais...** Ed: MELLO, N.A.; ASSMANN, T. S. Pato Branco: CEFET-PR, p.61-84, 2002.

ASSMANN, T. S.; MARTINICHEN, D.; LIMA, R. C.; LEVINSKI-HUF, F.; ZORTEA, T.; ASSMANN, A. L.; MORAES, A.; ALVES, S. A. Adubação de sistemas e ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária. In: SOUZA, E. D. et al. (eds.) **Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil**. 1 ed. Tubarão: Copiart, 2018.

ASSMANN, T. S.; OLIVEIRA, E. B.; SANDINI, I. Produção de Gado de Corte e Acumulo de Matéria Seca em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária em Presença e Ausência de Trevo Branco e Nitrogênio. **Rev. Bras. Zootecnia**, Viçosa, v.33, n.1, p.37-44, 2004.

ASSMANN, A. L.; PELISSARI, A.; MORAES, A.; ASSMANN, T. S.; OLIVEIRA, E.; SANDINI, I. Produção de gado de corte e acumulo de matéria seca em sistema de integração lavoura-pecuária em presença e ausência de trevo branco e nitrogênio. **Rev. Bras. Zootecnia**, Viçosa, v.33, n.1, p.37-44, 2004.

ASSMANN, T. S.; RONZELLI, J. P.; MORAES, A.; ASSMANN, A.; KOEHLER, H; SANDINI, I. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Rev. Bras. Ciên. Solo**, Viçosa, v.27, p.675-683, 2003.

BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Atributos de solo e produtividade de feijão após diferentes formas de uso do solo no inverno, no quinto ano de experimentação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.3, p.401-406, 2012.

BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Winter pasture and cover crops and their effect on soil and summer grain crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1357-1363, 2011.

BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.6, p.1925-1933, 2009.

BALBINOT JUNIOR, A.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; VEIGA, M.; DIECKOW, J. Estratégias de uso do solo no inverno e seu efeito no milho cultivado em sucessão. **Rev. Bras. Agrociência**, Pelotas, v.17, p.94-107, 2011.

BARRIGA, P. A. B. **Produção de novilhos em pastagem de inverno com diferentes intensidades de pastejo e adubação nitrogenada em integração lavoura-pecuária**. Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná,

Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pato Branco, 2019.

BÉLANGER, G. et al. A model of critical phosphorus concentration in the shoot biomass of wheat. **Soil Fertility & Crop Nutrition**, v.107, issue 3, 2015.

BÉLANGER, G. et al. Shoot growth and phosphorus-nitrogen relationship of grassland swards in response to mineral phosphorus fertilization. **Field Crops Research**, 2017.

BÉLANGER, G.; GASTAL, F.; LEMAIRE, G. Growth analysis of a tall fescue sward fertilized with different rates of nitrogen. **Crop. Sci.** v.32, p.1371-137, 1992.

BÉLANGER, G.; ZIADI, N.; WALSH, J. R.; RICHARDS, J. E.; MILBURN, P. H. Residual soil nitrate after potato harvest. **J. Environ. Qual.** v.32, p.607-612, 2003.

BERNARDON, A. **Altura do pasto e adubação nitrogenada sobre a produção de forragem e eficiência no uso de nutrientes em sistema de integração lavoura-pecuária.** Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pato Branco, 2016.

BONA FILHO, A. **Integração lavoura x pecuária com a cultura do feijoeiro e pastagem de inverno, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Curitiba, 2002.

BONA FILHO, A.; PELISSARI, A. Integração lavoura-pecuária com a cultura do feijoeiro e pastagem de inverno, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Scientia Agraria**, v.4, n.1-2, p.81-96, 2003.

BORTOLLI, M. A. **Adubação de sistemas: antecipação de adubação nitrogenada para a cultura do milho em integração lavoura-pecuária.** Tese (Doutorado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pato Branco, 2016.

CAMARGO, F. A. O.; GIANELLO, C.; TEESCO, M. J. Nitrogênio orgânico do solo. In: CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, F. A. (eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**, 1. ed. Porto Alegre: Gênese, 1999.

CARMONA, F. C.; DENARDIN, L. G. O.; MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. **Sistemas integrados de produção agropecuária em terras baixas: a integração lavoura-pecuária como o caminho da intensificação sustentável da lavoura arrozeira.** Porto Alegre, 2018.

CARVALHO, M. A. C. et al. Produtividade e qualidade de sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob influência de parcelamento e fontes de nitrogênio. **Rev. Bras. Ciên. Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.617-624. 2001.

CARVALHO, P. C. F. et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.88, n.2, p.259-273, 2010.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. SBRS, NRS, 11ª ed. 2016.

CASSOL, L. C.; PIVA, J. T.; SOARES, A. B.; ASSMANN, A. L. Produtividade e composição estrutural de aveia e azevém submetidos a épocas de corte e adubação nitrogenada. **Revista Ceres**. Viçosa, v.58, p.438-443, 2011.

COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P.; RODRIGUES, C.; SEVERIANO, E. C. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I - alterações nas características químicas do solo. **Rev. Bras. Ciên. Solo**, Viçosa, v.32, jul/ago, 2008.

COSTA, N. L.; GIANLUPPI, V.; MORAES, A.; CARVALHO, F. C. F.; MAGALHÃES, J. A. Índice de nutrição nitrogenada em pastagens de *Trachypogon plumosus* nos cerrados de Roraima. **Rev. Pubvet**, v.11, n.8, p.825-831, Ago., 2017.

CUNHA, P. C. R.; SILVEIRA, P. M.; XIMENES, P. A.; SOUZA, R. F.; ALVES JR, J.; NASCIMENTO, J. L. Fontes, formas de aplicação e doses de nitrogênio em feijoeiro irrigado sob plantio direto. **Pesq. Agropec. Trop.**, v.41, n.1, p.80-86, 2011.

DIBB, D. W.; THOMPSON JÚNIOR, W. R. Interaction of potassium with other nutrients. In: MUNSON, R. D. (ed). **Potassium in agriculture**. Madison: ASA; CSSA; SSSA, p.515-533, 1985.

DIVITO, G. A.; ECHEVERRIA, H. E.; ANDRADE, F. H.; SADRAS, V. O. Soybean shows an attenuated nitrogen dilution curve irrespective of maturity group and sowing date. **Field Crops Res.**, v.186, p.1–9, 2016.

DURU, M. Diagnostic de la nutrition minérale de prairies permanentes au printemps. II. Validation de références. **Agronomie**, v.12, p.345-357, 1992.

DURU, M.; THÉLIER-HUCHÉ, L. N and P-K status of herbage: use for diagnosis on grasslands. In: **Diagnostic procedures for crop N management**. Les colloques de l'INRA, n.82, p.125-138, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. In: GONZAGA, A. C. O. (ed). 2 ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B.; PENARIOL F. G.; EGÉA, M. M.; GASPAROTO, M. G. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro em plantio direto e convencional. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.41, n.2, p.307-312, fev. 2006.

FOLLMANN, D. D. **Dinâmica do nitrogênio mineral no solo e produção vegetal em função da adubação nitrogenada da pastagem e do milho em sistema de integração lavoura-pecuária**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação, Guarapuava, 2015.

FUNDAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTOS E AGRICULTURA - FAO. Climate change and the global dairy cattle sector. **The role of the dairy sector in a low-carbon future**. Rome, 2018. Acesso em: 17 mar. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/3/CA2929EN/ca2929en.pdf>

GARCIA, R. N. et al. Influência das culturas de cobertura morta e de nitrogênio sobre componentes produtivos do feijoeiro de inverno em sucessão ao milho. **Científica**, Jaboticabal, v.34, n.1, p.115-122, 2006.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. **Journal of Experimental Botany**, Oxford University Press, v.53, n.370, p.789-799, April, 2002.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G.; DURAND, J. L.; LOUARN, G. Quantifying crop responses to nitrogen and avenues to improve nitrogen-use efficiency. **Crop Physiology**. Chapter 8. Elsevier, 2015.

GASTAL, F.; NELSON, C.J. Nitrogen use within the growing leaf blade of tall fescue. **Plant Physiology**, p.105-191, 1994.

GREENWOOD, D. J.; GASTAL, F.; LEMAIRE, G.; DRAYCOTT, A.; MILLARDJ, P.; NEETESON, J. J. Growth rate and %N of field grown crops: Theory and Experiments. **Annals of Botany**, v.67, p.181-190, 1992.

GREENWOOD, D. J.; LEMAIRE, G.; GOSSE, G.; CRUZ, P.; DRAYCOTT, A.; NEETESON, J.J. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. **Ann. Bot.**, v.66, p.425–436, 1990.

HARGROVE, W.I., Soil environmental and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions, In: BOCK, B.R.; KISSEL, D.E. (eds.) **Ammonia volatilization from urea fertilizers**. Alabama: NFDC, TVA, Cap. 2 p.17-36, 1988.

HERBERT, R. A. Nitrogen cycling in coastal marine ecosystems. **FEMS Microbiology Reviews**, v.23, 1999.

HUANG, S. et al. Critical nitrogen dilution curve for rice nitrogen status diagnosis in Northeast China, **Pedosphere**, 2017.

IAC - INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Centro de grãos e fibra/Cultivares de feijoeiro IAC**. Acesso em: 08 abr. 2019. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/graos/feijao.php>

IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Principais características das cultivares de feijão com sementes disponíveis no mercado. **Cultivar de feijão preto IPR Tuiuiu. 2019**. Acesso em: 08 abr. 2019. Disponível em: <http://www.iapar.br/pagina-1363.html>

JEUFFROY, M. H.; NEY B. Crop physiology and productivity. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.53, n.1-3, p.3-16, jul. 1997.

KAMINSKI, T. H. **Efeito residual do nitrogênio aplicado no inverno para cultura do milho em um sistema de integração lavoura pecuária**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, Guarapuava, 2013.

KETTERINGS, Q. M.; ALBRECHT, G.; CZYMMEK, K.; STOCKIN, K. Pre-sidedress Nitrate Test. **Agronomy Fact Sheet Series**. Field Crops Extension, College of Agriculture and Life Sciences, 2012. Acesso em: 11 abr. 2019. Disponível em: <<http://nmsp.cals.cornell.edu/publications/factsheets/factsheet3.pdf>>.

KUNRATH, T. R. et al. How much do sod-based rotations reduce nitrate leaching in a cereal cropping system? **Agricultural Water Management**, 150, p.46-56, 2015.

KUREK, A. J.; CARVALHO, F. I. F.; ASSMANN, I. C.; MARCHIORO, V. S.; CRUZ, P. J. Análise de trilha como critério de seleção indireta para rendimento de grãos em feijão. **Rev. Bras. Agrocência**, Pelotas, v.7, n.1, p.29-32, 2001.

LANG, C. R.; PELISSARI, A.; MORAES, A.; SULC, R. M.; CARVALHO, P. C. F.; LOPES, E. C. P. Integração lavoura-pecuária: eficiência de uso do nitrogênio na cultura do milho. **Scientia Agraria**. Curitiba, v.12, p.53-60, 2011.

LARA CABEZAS, W. A. R.; YAMADA, T. Ureia aplicada na superfície do solo: um péssimo negócio! **Informações Agronômicas**, v.86, p.9-10, 1999.

LEMAIRE, G (ed.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Berlin: Springer, 56 p., 1997.

LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M. Leaf tissue turn-over and efficiency of herbage utilisation. In: Simpósio internacional "grassland ecophysiology and grazing ecology", 1999, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, p.165-186, 1999.

LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A.; CARVALHO, P. C. F.; DEDIEU, B. **Integrated crop-livestock systems**: Strategies to achieve synergy between Agriculture, Ecosystems & Environment. v.190, june, p.4-8, 2014.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIRES, G. (Ed.). **Diagnosis on the nitrogen status in crops**. Heidelberg: Springer-Verlag, p.3-43, 1997.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F.; SALETTE, J. Analysis of the effect of N nutrition on ryegrass yield of a sward by reference to potential yield and optimum N content. In: International grassland congress, 16, 1989, Nice. **Proceedings...** Nice: Ed. Association Francaise pour la Production Fourragere, p.179-180, 1989.

LEMAIRE, G.; JEUFFROY, M. H.; GASTAL, F. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage, Theory and practice for crop N management. **European Journal of Agronomy**, Taastrup, v.28, n.4, p.614-624, 2008.

LEMAIRE, G.; SALETTE, J. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prelevement d azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. étude de



1 effet du milieu. **Agronomie**. v.4, p.423-430, 1984.

LI, W.; HE, P.; JIN, J. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for spring maize in north-east China. **Journal of Plant Nutrition**, v.101, p.1747-1761, 2012.

LIMA, R. C. **Adubação de sistemas: volatilização de amônia em área de integração lavoura-pecuária em experimento de longa duração**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pato Branco, 2018.

LEVINSKI-HUF, F. **Adubação de sistemas e comportamento dos nutrientes em sistema de integração lavoura-pecuária**. Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pato Branco, 2018.

LOPES, M. L. T.; CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; SANTOS, D. T.; AGUINAGA, A. A. Q.; FLORES, J. P. C.; MORAES, A. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, v.39, p.1499-1506, 2009.

LUCHESE, E. D.; FAVERO, L.O.B.; LENZI, E. **Fundamentos da Química do Solo**. Rio de Janeiro. Freitas Bastos, 182p., 2002.

LUNARDI, R.; CARVALHO, P. C. F.; TREIN, C. R.; COSTA, J. A.; CAUDURO, G. F.; BARBOSA, C. M. P.; AGUINAGA, A. A. Q. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidade de pastejo. **Ciência Rural**, v.38, n.3, p.795-801, 2008.

LUPATINI, G.C.; RESTLE, J.; CERETA, M. et al. Avaliação da mistura de aveia preta e azevém sob pastejo submetida a níveis de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.11, p.1939-1943, 1998.

MACCARI, M. **A altura de dossel e a adubação nitrogenada da pastagem podem afetar a nutrição nitrogenada do milho, num sistema de integração lavoura-pecuária?** Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

MAZZANTI, A.; LEMAIRE, G.; GASTAL, F. The effect of nitrogen fertilization upon herbage production of tall fescue sward continuously grazed with sheep. 1. Herbage growth dynamics. **Grass and Forage Science**, v.49, n.2, p.111-120, 1994.

MENGEL, K; KIRKBY, E. A. Principles of plant nutrition. **Kluwer Academic Publishers**. p.849, 2001.

MEURER, E. J; RHENHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômenos de superfície. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. Cap.5, p.77- 105, 2000.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S. B. C.; COSTA, S. E. V. G. A.; KUNRATH, T. R. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v.57, p.329-326, 2014.

MOTT, G.O., LUCAS, H.L. The design, conduct and interpretation of grazing trails on cultivated and improved pastures. In: Proc. Intl. Grassld. Congr., 6, State College. **Proceedings...** State College: Pennsylvania State College, p.1380-1395, 1952.

NASCENTE, A. S.; CARVALHO, M. C. S.; MELO, L. C.; ROSA, P. H. Nitrogen management effects on soil mineral nitrogen, plant nutrition and yield of super early cycle common bean genotypes. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 39, n. 3, p. 369-378, July-Sep., 2017.

NICOLOSSO, R. S.; LANZANOVA, M. E.; LOVATO, T. Manejo das pastagens de inverno e potencial produtivo de sistemas de integração lavoura-pecuária no estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.36, n.6, p.1799-1805, 2006.

OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; FAVARIN, J. L.; COBUCCI, T. Antecipação de nitrogênio em cultivares de feijão sobre palhadas de cobertura do solo. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão** (Comunicado Técnico 189), 2010.

PACENTCHUK, F. **Resposta do feijão de alta produtividade ao nitrogênio no sistema de Integração Lavoura-Pecuária em experimento de longa duração**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, Guarapuava, 2016.

PINEIRO, G.; PARUELO, J.M.; OESTERHELD, M. Potential long-term impacts of livestock introduction on carbon and nitrogen cycling in grasslands of Southern South America. **Global Change Biology**, v.12 p. 1267-1284, 2006.

PLÉNET, D.; LEMAIRE, G. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. **Plant Soil**, v.216, p.65-82, 2000.

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L. Parâmetros de planta para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1637-1645, set-out, 2004.

REICHERT, P. **Cultura do feijão e nitrogênio no sistema de Integração Lavoura-Pecuária**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Guarapuava, 2012.

RHODEN, A. C. **Potencial de mineralização anaeróbia do nitrogênio em solos de várzea do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Santa Maria, 2005.

RHODEN, A. C.; LIMA, R.C. de; MENSOR, M.; TONET, R.; BARRIGA, B.A.P.; ASSMANN, T. S. Adubação de sistema: produtividade do feijoeiro em integração lavoura-pecuária de longa duração. In: I Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. **Anais...** Cascavel, 2017.

RIBEIRO, E. C.; MELLO, G. R.; BRATTI, F.; LOCATELLI, J. L.; RIBEIRO, R. H.; PIVA, J. T. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na fase pastagem em sistema de integração

lavoura-pecuária com adubação nitrogenada de sistemas. In: XII Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo, SBCS, NRS. **Anais...** Xanxerê, 2018.

RISSI, B. F. **Produção animal em sistema de integração lavoura-pecuária em função de intensidade de pastejo e antecipação da adubação nitrogenada.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Dois Vizinhos, 2015.

ROSO, C.; RESTLE, J. Aveia preta, triticale e centeio em mistura com azevém. Produtividade animal e retorno econômico. **Rev. Bras. Zootecnia**. Viçosa, v.29, n.1, p.85-93, 2000.

SALETTE, J; HUCHÉ L. Diagnostic de l'état de nutrition minérale d'une prairie par analyse de végétal: principes, mise en oeuvre, exemples. **Fourrages**, n.125, p.3-18, 1991.

SANDINI, I. E. **Milho, feijão e nitrogênio no sistema de produção Integração Lavoura-Pecuária.** Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia e Fitossanitarismo, Curitiba, 2009.

SANDINI, I.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; NEUMANN, M.; FALBO, M. K.; NOVAKOWISKI, J. H. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, p. 1315–1322, 2011.

SANGOI, L. et al. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v.33, p.87-692, 2003.

SANT'ANA, E. V. P.; SILVEIRA, P. M. Crescimento do feijoeiro (*Phaseolous vulgaris* L.) influenciado por doses de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 134-140, 2008.

SARTOR, L. R.; ASSMANN, T. S.; SOARES, A. B.; ADAMI, P. F.; ASSMANN, A. L.; ORTIZ, S. Avaliação do estado nutricional da pastagem: índice nutricional de nitrogênio. **Semina**, Londrina, v.35, n.1, p.449-456, 2014.

SARTOR, L. R.; ASSMANN, T. S.; SOARES, A. B.; ADAMI, P. F.; ASSMANN, A. L.; PITTA, C. S. R. Nitrogen fertilizer use efficiency, recovery and leaching of an alexandergrass pasture. **Rev. Bras. Ciên. Solo**, v.35, p.899-906, 2011.

SCHRÖDER, J. J. et al. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of art. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.66, n.1, p.151-164, 2000.

SILVA, E. P.; CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F.; DALMAGO, G. A.; PASINATO, A. Fatores abióticos envolvidos na tolerância de trigo a geada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n.10, p. 1257-1265, 2008.

SILVEIRA, P. M.; BRAZ, A. J. B. P.; KLIEMANN, H. J.; ZIMMERMANN, F. J. P. Adubação nitrogenada no feijoeiro cultivado sob plantio direto em sucessão de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.4, p.377-381, abr. 2005.

SKONIESKI, F. R. **Composição botânica, estrutural, valor nutricional e dinâmica do nitrogênio em pastagens de azevém consorciadas**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (Área de Concentração: Produção Animal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SOARES, A. B.; RESTLE, J. Produção animal e qualidade de forragem de pastagem de triticale e azevém submetida a doses de adubação nitrogenada. **Rev. Bras. Zootecnia**, Viçosa, v.31, n.2, p.908–917, 2002.

SOUSSANA, J. F.; LEMAIRE, G. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.190, p.9-17, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5.ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 954p.

TATTO, W. H. **Altura de pasto e adubação nitrogenada afetam os atributos físicos do solo, plantabilidade e produtividade da soja no sistema de integração lavoura-pecuária?** Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pato Branco, 2017.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Departamento de Solos, UFRGS. Porto Alegre, 1995.

THÉLIER-HUCHÉ, L.; FARRUGGIA, A.; CASTILLON, P. L'analyse d'herbe: un outil pour phosphate et potassique des prairies naturelles et temporaires. **Institut de L'Élevage**, Juin, 1999.

VIANA, E. M. **Interação de nitrogênio e potássio na nutrição, no teor de clorofila e na atividade da redutase do nitrato em plantas de trigo**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Paulo/ESALQ, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Piracicaba, 2007.

VIEIRA, E.; BAÊTA, A.; MARQUES, P. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura spad e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n.4, p.491-496, 2010.

ZIADI, N.; BÉLANGER, G.; CAMBOURIS, A. N.; TREMBLAY, N.; NOLIN, M. C.; CLAESSENS, A. Relationship between P and N Concentrations in Corn. **Agronomy Journal**, v.99, p.833-841, 2007.

## ANEXOS

**Anexo 1** - Teor de N-Amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) no solo após o cultivo do feijão das secas e antes da semeadura da pastagem de azevém no inverno de 2016 em função do tempo de adubação de N, altura do pasto e profundidade de solo.

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de Adubação de N	6,50104	1	6,50104	0,31	0,5793
B:Altura de Pasto	0,0770417	1	0,0770417	0,00	0,9518
C:Profundidade de Solo	223,658	4	55,9146	2,69	0,0455
D:Bloco	0,159143	2	0,0795717	0,00	0,9962
INTERACTIONS					
AB	3,92704	1	3,92704	0,19	0,6663
AC	26,7999	4	6,69997	0,32	0,8613
BC	9,12647	4	2,28162	0,11	0,9784
ABC	106,448	4	26,6119	1,28	0,2948
RESIDUAL	789,909	38	20,7871		
TOTAL (CORRECTED)	1166,61	59			

**Anexo 2** - Teor de N-Nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no solo após o cultivo do feijão das secas e antes da semeadura da pastagem de azevém no inverno de 2016 em função do tempo de adubação de N, altura do pasto e profundidade de solo.

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de Adubação de N	15,7491	1	15,7491	0,59	0,4455
B:Altura de Pasto	8,02273	1	8,02273	0,30	0,5854
C:Profundidade de Solo	100,419	4	25,1049	0,95	0,4473
D:Bloco	188,126	2	94,0629	3,55	0,0386
INTERACTIONS					
AB	5,13923	1	5,13923	0,19	0,6621
AC	34,8622	4	8,71555	0,33	0,8568
BC	20,0459	4	5,01146	0,19	0,9426
ABC	14,9505	4	3,73763	0,14	0,9658
RESIDUAL	1006,86	38	26,4964		
TOTAL (CORRECTED)	1394,18	59			

**Anexo 3** - Teor de N mineral (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no solo após o cultivo do feijão das secas e antes da semeadura da pastagem de azevém no inverno de 2016 em função do tempo de adubação de N, altura do pasto e profundidade de solo.

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de Adubação de N	2,013	1	2,013	0,03	0,8639
B:Altura de Pasto	9,70428	1	9,70428	0,14	0,7069
C:Profundidade de Solo	579,181	4	144,795	2,14	0,0945
D:Bloco	196,963	2	98,4815	1,46	0,2458
INTERACTIONS					
AB	18,095	1	18,095	0,27	0,6080
AC	82,6765	4	20,6691	0,31	0,8724

BC	23,593	4	5,89824	0,09	0,9859
ABC	76,3037	4	19,0759	0,28	0,8878
RESIDUAL	2570,0	38	67,6317		
TOTAL (CORRECTED)	3558,53	59			

**Anexo 4** - Teor de N-Amônio ( $N-NH_4^+$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura na pastagem de azevém no inverno de 2016 em função do tempo de adubação de N, altura do pasto e profundidade de solo.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de Adubação de N	1195,55	1	1195,55	7,23	0,0106
B:Altura de Pasto	128,568	1	128,568	0,78	0,3835
C:Profundidade de Solo	2529,38	4	632,346	3,82	0,0104
D:Bloco	118,744	2	59,372	0,36	0,7007
INTERACTIONS					
AB	46,2004	1	46,2004	0,28	0,6002
AC	4694,12	4	1173,53	7,10	0,0002
BC	126,13	4	31,5326	0,19	0,9418
ABC	126,438	4	31,6096	0,19	0,9416
RESIDUAL	6284,72	38	165,387		
TOTAL (CORRECTED)	15249,9	59			

**Anexo 5** - Teor de N-Nitrato ( $N-NO_3^-$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura na pastagem de azevém no inverno de 2016 em função do tempo de adubação de N, altura do pasto e profundidade de solo.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de Adubação de N	8379,91	1	8379,91	171,04	0,0000
B:Altura de Pasto	35,3894	1	35,3894	0,72	0,4007
C:Profundidade de Solo	6864,28	4	1716,07	35,03	0,0000
D:Bloco	291,149	2	145,575	2,97	0,0632
INTERACTIONS					
AB	339,293	1	339,293	6,93	0,0122
AC	8887,7	4	2221,93	45,35	0,0000
BC	426,011	4	106,503	2,17	0,0405
ABC	205,642	4	51,4106	1,05	0,3948
RESIDUAL	1861,75	38	48,9934		
TOTAL (CORRECTED)	27291,1	59			

**Anexo 6** - Teor de N-mineral ( $N-NH_4^+ + N-NO_3^-$ ) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada de cobertura na pastagem de azevém no inverno de 2016 em função do tempo de adubação de N, altura do pasto e profundidade de solo.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de Adubação de N	15906,5	1	15906,5	53,29	0,0000
B:Altura de Pasto	28,9954	1	28,9954	0,10	0,7570
C:Profundidade de Solo	17066,3	4	4266,57	14,29	0,0000
D:Bloco	753,826	2	376,913	1,26	0,2945
INTERACTIONS					

AB	135,03	1	135,03	0,45	0,5053
AC	26165,0	4	6541,26	21,91	0,0000
BC	788,239	4	197,06	0,66	0,6235
ABC	412,336	4	103,084	0,35	0,8456
RESIDUAL	11343,3	38	298,509		
TOTAL (CORRECTED)	72599,6	59			

**Anexo 7** - Teor de N-Amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada do feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N, altura do pasto, doses de N e profundidade de solo.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de Adubação de N	469,381	1	469,381	0,61	0,4348
B:Altura de Pasto	40,4749	1	40,4749	0,05	0,8184
C:Profundidade de Solo	10173,0	4	2543,25	3,32	0,0124
D:Doses de N	1695,23	3	565,077	0,74	0,5308
E:Bloco	270,391	2	135,196	0,18	0,8382
INTERACTIONS					
AB	4179,57	1	4179,57	5,46	0,0209
AC	1369,08	4	342,269	0,45	0,7742
AD	3295,96	3	1098,65	1,44	0,2350
BC	3024,79	4	756,199	0,99	0,4162
BD	8238,13	3	2746,04	3,59	0,0154
CD	7282,04	12	606,836	0,79	0,6569
ABC	6773,03	4	1693,26	2,21	0,0708
ABD	2756,82	3	918,939	1,20	0,3119
ACD	11671,8	12	972,649	1,27	0,2424
BCD	7785,56	12	648,797	0,85	0,6012
ABCD	8108,54	12	675,711	0,88	0,5657
RESIDUAL	104823,	137	765,132		
TOTAL (CORRECTED)	180163,	218			

**Anexo 8** - Teor de N-Nitrato (N-NO<sub>3</sub>) no solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada do feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N, altura do pasto, doses de N e profundidade de solo.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de Adubação de N	1590,48	1	1590,48	11,67	0,0008
B:Altura de Pasto	386,867	1	386,867	2,84	0,0943
C:Profundidade de Solo	3426,24	4	856,559	6,29	0,0001
D:Doses de N	1934,22	3	644,741	4,73	0,0036
E:Bloco	751,534	2	375,767	2,76	0,0669
INTERACTIONS					
AB	134,825	1	134,825	0,99	0,3216
AC	77,5369	4	19,3842	0,14	0,9661
AD	847,38	3	282,46	2,07	0,1066
BC	171,733	4	42,9333	0,32	0,8675
BD	416,55	3	138,85	1,02	0,3863
CD	2637,63	12	219,802	1,61	0,0946
ABC	366,776	4	91,6939	0,67	0,6118

ABD	581,528	3	193,843	1,42	0,2388
ACD	317,077	12	26,4231	0,19	0,9985
BCD	222,18	12	18,515	0,14	0,9998
ABCD	1078,3	12	89,858	0,66	0,7874
RESIDUAL	18666,4	137	136,251		
TOTAL (CORRECTED)	34687,0	218			

**Anexo 9** - Teor de N-mineral ( $N-NH_4^+ + N-NO_3^-$ ) solo aos 15 dias após a adubação nitrogenada do feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N, altura do pasto, doses de N e profundidade de solo.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de Adubação de N	3789,09	1	3789,09	3,74	0,0553
B:Altura de Pasto	678,106	1	678,106	0,67	0,4149
C:Profundidade de Solo	12524,2	4	3131,04	3,09	0,0180
D:Doses de N	3634,16	3	1211,39	1,19	0,3143
E:Bloco	1847,77	2	923,883	0,91	0,4045
INTERACTIONS					
AB	5814,34	1	5814,34	5,73	0,0180
AC	1742,05	4	435,513	0,43	0,7871
AD	2510,93	3	836,978	0,83	0,4820
BC	2955,86	4	738,965	0,73	0,5738
BD	11312,7	3	3770,91	3,72	0,0131
CD	11641,0	12	970,084	0,96	0,4933
ABC	7485,76	4	1871,44	1,85	0,1236
ABD	5266,62	3	1755,54	1,73	0,1635
ACD	12889,4	12	1074,11	1,06	0,3994
BCD	8649,12	12	720,76	0,71	0,7390
ABCD	9634,96	12	802,913	0,79	0,6582
RESIDUAL	138923,	137	1014,04		
TOTAL (CORRECTED)	239443,	218			

**Anexo 10** - Teor de N-Amônio ( $N-NH_4^+$ ) no solo na colheita do feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N, altura do pasto, doses de N e profundidade de solo.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de Adubação de N	128,429	1	128,429	0,69	0,4089
B:Altura de Pasto	476,375	1	476,375	2,55	0,1130
C:Profundidade de Solo	43505,4	3	14501,8	77,52	0,0000
D:Doses de N	372,718	3	124,239	0,66	0,5756
E:Bloco	2546,02	2	1273,01	6,81	0,0016
INTERACTIONS					
AB	247,771	1	247,771	1,32	0,2520
AC	1749,24	3	583,079	3,12	0,0286
AD	1048,84	3	349,613	1,87	0,1382
BC	459,575	3	153,192	0,82	0,4857
BD	532,882	3	177,627	0,95	0,4189
CD	389,937	9	43,3263	0,23	0,9893
ABC	503,0	3	167,667	0,90	0,4452



ABD	962,346	3	320,782	1,71	0,1673
ACD	602,843	9	66,9825	0,36	0,9526
BCD	1146,03	9	127,337	0,68	0,7252
ABCD	1542,62	9	171,402	0,92	0,5134
RESIDUAL	23570,3	126	187,066		
TOTAL (CORRECTED)	79784,3	191			

**Anexo 11** - Teor de N-Nitrato ( $N-NO_3^-$ ) no solo na colheita do feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N, altura do pasto, doses de N e profundidade de solo.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de Adubação de N	194,689	1	194,689	5,61	0,0194
B:Altura de Pasto	40,1685	1	40,1685	1,16	0,2842
C:Profundidade de Solo	6154,73	3	2051,58	59,08	0,0000
D:Doses de N	77,1689	3	25,723	0,74	0,5297
E:Bloco	282,363	2	141,182	4,07	0,0195
INTERACTIONS					
AB	0,0892687	1	0,0892687	0,00	0,9596
AC	52,518	3	17,506	0,50	0,6801
AD	317,312	3	105,771	3,05	0,0313
BC	87,2071	3	29,069	0,84	0,4759
BD	172,957	3	57,6524	1,66	0,1790
CD	241,392	9	26,8213	0,77	0,6421
ABC	20,3482	3	6,78274	0,20	0,8994
ABD	46,0156	3	15,3385	0,44	0,7236
ACD	111,67	9	12,4078	0,36	0,9530
BCD	157,97	9	17,5522	0,51	0,8684
ABCD	304,235	9	33,8039	0,97	0,4652
RESIDUAL	4375,55	126	34,7266		
TOTAL (CORRECTED)	12636,4	191			

**Anexo 12** - Teor de N-mineral ( $N-NH_4^+ + N-NO_3^-$ ) no solo na colheita do feijoeiro na safra 2016/2017 em função do tempo de adubação de N, altura do pasto, doses de N e profundidade de solo.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de Adubação de N	639,225	1	639,225	2,58	0,1107
B:Altura de Pasto	793,529	1	793,529	3,20	0,0759
C:Profundidade de Solo	81975,9	3	27325,3	110,31	0,0000
D:Doses de N	213,076	3	71,0252	0,29	0,8349
E:Bloco	4526,45	2	2263,23	9,14	0,0002
INTERACTIONS					
AB	257,498	1	257,498	1,04	0,3099
AC	2274,82	3	758,272	3,06	0,0307
AD	1857,25	3	619,084	2,50	0,0626
BC	939,997	3	313,332	1,26	0,2894
BD	829,741	3	276,58	1,12	0,3450
CD	585,314	9	65,0349	0,26	0,9833
ABC	650,229	3	216,743	0,87	0,4561

ABD	648,289	3	216,096	0,87	0,4574
ACD	1026,03	9	114,003	0,46	0,8986
BCD	1175,3	9	130,589	0,53	0,8526
ABCD	2716,83	9	301,87	1,22	0,2894
RESIDUAL	31212,3	126	247,717		
TOTAL (CORRECTED)	132322,	191			

**Anexo 13** - Interação tripla dos dias após a semeadura (DAS), tempo de adubação de N e doses de N sobre o teor de N no feijoeiro.

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A:DAS	185,63	6	30,9384	209,74	0,0000
B:Tempo de Adubação de N	0,85774	1	0,85774	5,81	0,0166
C:Dose N	13,5672	3	4,52238	30,66	0,0000
D:Bloco	0,145919	2	0,0729594	0,49	0,6104
INTERACTIONS					
AB	5,03351	6	0,838918	5,69	0,0000
AC	8,67767	18	0,482093	3,27	0,0000
BC	1,30648	3	0,435492	2,95	0,0332
ABC	3,43039	18	0,190577	1,29	0,0010
RESIDUAL	37,4663	254	0,147505		
TOTAL (CORRECTED)	256,226	311			

**Anexo 14** - Desdobramento da interação tripla. Interação dupla dos dias após a semeadura (DAS) e doses de N sobre o teor de N no feijoeiro no tratamento N-Fert. Grãos.

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A:DAS	111,606	6	18,601	117,18	0,0000
B:Dose N	10,6196	3	3,53987	22,30	0,0000
C:Bloco	0,0372911	2	0,0186455	0,12	0,8893
INTERACTIONS					
AB	6,07741	18	0,337634	2,13	0,0084
RESIDUAL	19,3654	122	0,158733		
TOTAL (CORRECTED)	147,92	151			

**Anexo 15** - Desdobramento da interação tripla. Interação dupla dos dias após a semeadura (DAS) e doses de N sobre o teor de N no feijoeiro no tratamento N-Fert. Pastagem.

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A:DAS	79,7549	6	13,2925	95,97	0,0000
B:Dose N	4,08426	3	1,36142	9,83	0,0000
C:Bloco	0,204282	2	0,102141	0,74	0,4803
INTERACTIONS					
AB	6,19999	18	0,344444	2,49	0,0016
RESIDUAL	18,0053	130	0,138502		
TOTAL (CORRECTED)	107,856	159			

**Anexo 16 - Teor de P no feijoeiro em função dos dias após a semeadura (DAS), tempo de adubação de N, altura do pasto e doses de N.**

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A:DAS	5,90391	6	0,983984	0,75	0,6080
B:Tempo N	1,71423	1	1,71423	1,31	0,2535
C:Altura Pasto	1,62729	1	1,62729	1,24	0,2658
D:Dose N	2,60018	3	0,866727	0,66	0,5757
E:Bloco	1,9718	2	0,985901		
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	7,31891	6	1,21982	0,93	0,4721
AC	6,51166	6	1,08528	0,83	0,5477
AD	21,4852	18	1,19362	0,91	0,5635
BC	0,907928	1	0,907928	0,69	0,4056
BD	2,69387	3	0,897958	0,69	0,5610
CD	2,8539	3	0,9513	0,73	0,5365
ABC	7,46608	6	1,24435	0,95	0,4590
ABD	20,9586	18	1,16437	0,89	0,5905
ACD	20,7247	18	1,15137	0,88	0,6026
BCD	3,87342	3	1,29114	0,99	0,3995
RESIDUAL	282,401	216	1,30741		
TOTAL (CORRECTED)	393,607	311			

**Anexo 17 - Teor de K no feijoeiro em função dos dias após a semeadura (DAS), tempo de adubação de N, altura do pasto e doses de N.**

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A:DAS	394,566	6	65,761	344,82	0,0000
B:Dose N	4,48079	3	1,4936	7,83	0,0001
C:Tempo N	0,659888	1	0,659888	3,46	0,0643
D:Altura Pasto	0,213458	1	0,213458	1,12	0,2914
E:Bloco	0,252737	2	0,126368		
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	3,09058	18	0,171699	0,90	0,5788
AC	0,930753	6	0,155126	0,81	0,5606
AD	1,57618	6	0,262697	1,38	0,2253
BC	0,948493	3	0,316164	1,66	0,1774
BD	0,229276	3	0,0764253	0,40	0,7526
CD	0,061321	1	0,061321	0,32	0,5713
ABC	4,42227	18	0,245682	1,29	0,1985
ABD	5,28497	18	0,293609	1,54	0,0797
ACD	2,15842	6	0,359737	1,89	0,0848
BCD	0,162851	3	0,0542836	0,28	0,8365
ABCD	2,95549	18	0,164194	0,86	0,6264
RESIDUAL	37,7613	198	0,190714		
TOTAL (CORRECTED)	463,221	311			

**Anexo 18** - INN no feijoeiro em função dos dias após a semeadura (DAS), tempo de adubação de N, altura do pasto e doses de N.

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A:DAS	16958,4	6	2826,4	20,49	0,0000
B:Tempo de N	7949,64	1	7949,64	57,62	0,0000
C:Altura Pasto	645,744	1	645,744	4,68	0,0317
D:Dose N	16733,3	3	5577,78	40,43	0,0000
E:Bloco	586,936	2	293,468		
INTERACTIONS					
AB	1176,33	6	196,056	1,42	0,2082
AC	1387,32	6	231,219	1,68	0,1286
AD	3164,45	18	175,803	1,27	0,2079
BC	428,406	1	428,406	3,11	0,0796
BD	473,08	3	157,693	1,14	0,3329
CD	568,362	3	189,454	1,37	0,2522
ABC	508,585	6	84,7641	0,61	0,7187
ABD	4321,52	18	240,085	1,74	0,0353
ACD	1742,41	18	96,8003	0,70	0,8073
BCD	626,879	3	208,96	1,51	0,2120
ABCD	3123,0	18	173,5	1,26	0,2196
RESIDUAL	27317,4	198	137,967		
TOTAL (CORRECTED)	87950,0	311			

**Anexo 19** - INN no feijoeiro em função dos dias após a semeadura (DAS) e doses de N no tratamento N-Fert. Grãos.

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A:DAS	10430,4	6	1738,4	11,79	0,0000
B:Altura pastejo	3,16044	1	3,16044	0,02	0,8839
C:Dose N	9348,23	3	3116,08	21,13	0,0000
D:Bloco	354,901	2	177,451		
INTERACTIONS					
AB	1301,34	6	216,89	1,47	0,1966
AC	3091,55	18	171,753	1,16	0,3062
BC	55,5547	3	18,5182	0,13	0,9447
ABC	3218,9	18	178,828	1,21	0,2673
RESIDUAL	13860,3	94	147,45		
TOTAL (CORRECTED)	41817,1	151			

**Anexo 20** - INN no feijoeiro em função dos dias após a semeadura (DAS) e doses de N no tratamento N-Fert. Pastagem.

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A:DAS	7417,12	6	1236,19	10,63	0,0000
B:Altura pastejo	1017,34	1	1017,34	8,75	0,0039
C:Dose N	7808,52	3	2602,84	22,38	0,0000
D:Bloco	1825,41	2	912,704		
INTERACTIONS					

AB	362,159	6	60,3598	0,52	0,7928
AC	4550,99	18	252,833	2,17	0,0079
BC	1175,82	3	391,941	3,37	0,0214
ABC	1528,24	18	84,9021	0,73	0,7732
RESIDUAL	11863,7	102	116,31		
TOTAL (CORRECTED)	37337,5	159			

**Anexo 21** - iP no feijoeiro em função dos dias após a semeadura (DAS), tempo de adubação de N, altura do pasto e doses de N.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:DAS	60609,3	6	10101,6	27,76	0,0000
B:Tempo N	4058,24	1	4058,24	11,15	0,0010
C:Altura Pasto	2203,26	1	2203,26	6,05	0,0147
D:Dose N	12283,0	3	4094,34	11,25	0,0000
E:Bloco	2212,75	2	1106,38		
INTERACTIONS					
AB	4808,62	6	801,436	2,20	0,0443
AC	3702,25	6	617,041	1,70	0,1238
AD	12341,8	18	685,657	1,88	0,0189
BC	749,614	1	749,614	2,06	0,1528
BD	909,907	3	303,302	0,83	0,4769
CD	2697,5	3	899,168	2,47	0,0631
ABC	1425,68	6	237,613	0,65	0,6877
ABD	10571,2	18	587,287	1,61	0,0594
ACD	5128,65	18	284,925	0,78	0,7188
BCD	1506,63	3	502,211	1,38	0,2501
ABCD	8845,64	18	491,424	1,35	0,1604
RESIDUAL	72053,0	198	363,904		
TOTAL (CORRECTED)	209087,	311			

**Anexo 22** - iK no feijoeiro em função dos dias após a semeadura (DAS), tempo de adubação de N, altura do pasto e doses de N.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:DAS	247546,	6	41257,6	228,35	0,0000
B:Tempo N	1868,15	1	1868,15	10,34	0,0015
C:Altura Pasto	157,625	1	157,625	0,87	0,3514
D:Dose N	576,782	3	192,261	1,06	0,3654
E:Bloco	425,906	2	212,953		
INTERACTIONS					
AB	308,254	6	51,3757	0,28	0,9439
AC	987,823	6	164,637	0,91	0,4878
AD	3499,06	18	194,392	1,08	0,3789
BC	0,0654153	1	0,0654153	0,00	0,9848
BD	798,788	3	266,263	1,47	0,2229
CD	451,74	3	150,58	0,83	0,4769
ABC	1092,87	6	182,144	1,01	0,4212
ABD	4393,29	18	244,072	1,35	0,1602

ACD	4932,25	18	274,014	1,52	0,0871
BCD	780,395	3	260,132	1,44	0,2324
ABCD	3957,22	18	219,845	1,22	0,2503
RESIDUAL	35774,1	198	180,677		
TOTAL (CORRECTED)	311866,	311			

**Anexo 23** - Produtividade do feijoeiro em função do tempo de adubação de N, altura do pasto e doses de N.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:N tempo	6,30879E6	1	6,30879E6	33,89	0,0000
B:Altura Pasto	383816,	1	383816,	2,06	0,1630
C:Dose N	2,08962E6	3	696539,	3,74	0,0233
D:Bloco	1,20792E6	2	603962,		
INTERACTIONS					
AB	1,05822E6	1	1,05822E6	5,68	0,0247
AC	564148,	3	188049,	1,01	0,4041
BC	712224,	3	237408,	1,28	0,3035
ABC	11377,1	3	3792,36	0,02	0,9960
RESIDUAL	4,84017E6	26	186160,		
TOTAL (CORRECTED)	1,78894E7	43			

**Anexo 24** - MS acumulada do feijoeiro em função dos dias após a semeadura (DAS), tempo de adubação de N, altura do pasto e doses de N.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:DAS	7,19714E8	6	1,19952E8	193,98	0,0000
B:Tempo N	5,36613E7	1	5,36613E7	86,78	0,0000
C:Altura Pasto	2,53856E6	1	2,53856E6	4,11	0,0439
D:Dose N	1,60927E7	3	5,36424E6	8,67	0,0000
E:Bloco	4,0626E6	2	2,0313E6		
INTERACTIONS					
AB	3,82002E7	6	6,3667E6	10,30	0,0000
AC	8,2055E6	6	1,36758E6	2,21	0,0430
AD	1,27586E7	18	708812,	1,15	0,3091
BC	4,25742E6	1	4,25742E6	6,88	0,1663
BD	3,16797E6	3	1,05599E6	1,71	0,0093
CD	3,27932E6	3	1,09311E6	1,77	0,1542
ABC	3,06552E6	6	510920,	0,83	0,0353
ABD	8,57094E6	18	476163,	0,77	0,7341
ACD	6,09771E6	18	338762,	0,55	0,9322
BCD	3,8394E6	3	1,2798E6	2,07	0,1051
ABCD	1,31707E7	18	731705,	1,18	0,2764
RESIDUAL	1,37279E8	222	618372,		
TOTAL (CORRECTED)	1,03796E9	335			

**Anexo 25** - Peso de mil grãos do feijoeiro em função do tempo de adubação de N, altura do pasto e doses de N.

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	427,333	1	427,333	4,69	0,0384
B:Altura Pasto	16,7797	1	16,7797	0,18	0,6709
C:Dose N	654,555	3	218,185	2,39	0,0880
D:Bloco	758,997	2	379,498		
INTERACTIONS					
AB	341,12	1	341,12	3,74	0,0625
AC	157,717	3	52,5724	0,58	0,6347
BC	704,747	3	234,916	2,58	0,0722
ABC	70,3106	3	23,4369	0,26	0,8556
RESIDUAL	2733,8	30	91,1267		
TOTAL (CORRECTED)	5865,36	47			

**Anexo 26** - Número de vagens por planta do feijoeiro em função do tempo de adubação de N, altura do pasto e doses de N.

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	15,9852	1	15,9852	1,89	0,1792
B:Altura Pasto	32,703	1	32,703	3,87	0,0584
C:Dose N	112,886	3	37,6285	4,45	0,0106
D:Bloco	27,3566	2	13,6783		
INTERACTIONS					
AB	1,58413	1	1,58413	0,19	0,6681
AC	13,5008	3	4,50025	0,53	0,6634
BC	2,97516	3	0,991719	0,12	0,9492
ABC	66,9108	3	22,3036	2,64	0,0675
RESIDUAL	253,464	30	8,44879		
TOTAL (CORRECTED)	527,365	47			

**Anexo 27** - Número de grãos por vagem do feijoeiro em função do tempo de adubação de N, altura do pasto e doses de N.

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	5,69252	1	5,69252	27,48	0,0000
B:Altura Pasto	0,0728521	1	0,0728521	0,35	0,5576
C:Dose N	0,49934	3	0,166447	0,80	0,5017
D:Bloco	6,75211	2	3,37606		
INTERACTIONS					
AB	0,000352083	1	0,000352083	0,00	0,9674
AC	0,637956	3	0,212652	1,03	0,3947
BC	0,802723	3	0,267574	1,29	0,2952
ABC	1,57396	3	0,524652	2,53	0,0757
RESIDUAL	6,21342	30	0,207114		
TOTAL (CORRECTED)	22,2452	47			