

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

FLÁVIA LEVINSKI-HUF

ADUBAÇÃO DE SISTEMAS E COMPORTAMENTO DOS NUTRIENTES
EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

TESE

PATO BRANCO

2018

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

FLÁVIA LEVINSKI-HUF

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS E COMPORTAMENTO DOS
NUTRIENTES EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

TESE

PATO BRANCO

2018

FLÁVIA LEVINSKI-HUF

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS E COMPORTAMENTO DOS
NUTRIENTES EM SISTEMA DE 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 Doutora em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Tangriani Simioni Assmann

Coorientador: Prof. Dr. André Brugnara Soares

PATO BRANCO

2018

L665a Levinski-Huf, Flávia.
Adubação de sistemas e comportamento dos nutrientes em sistema de integração lavoura-pecuária / Flávia Levinski-Huf. – 2018.
194 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Tangriani Simioni Assmann
Coorientador: Prof. Dr. André Brugnara Soares
Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2018.
Bibliografia: f. 158 - 174.

1. Fertilizantes nitrogenados. 2. Nitratos. 3. Pastagens - Manejo. Cobertura dos solos. I. Assmann, Tangriani Simioni, orient. II. Soares, André Brugnara, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDD 22. ed. 630



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 nº XXX

ADUBAÇÃO DE SISTEMAS E COMPORTAMENTO DOS NUTRIENTES EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

por

FLÁVIA LEVINSKI-HUF

Tese apresentada às 14 horas 00 min. do dia 22 de agosto de 2018 como requisito parcial para obtenção do título de DOUTORA EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Integração Lavoura-Pecuária, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Dra. Marcieli Maccari
UNOESC

Prof. Dr. Leonardo Deiss
OHIO STATE UNIVERSITY

Prof. Dr. Laércio R. Sartor
UTFPR

Prof. Dr. Marcos A. de Bortolli
Autônomo

Tangriani Simioni Assmann
UTFPR
Orientador

Prof. Dr. Moeses Andriago Danner
Coordenador do PPGA

"O Termo de Aprovação, devidamente assinado, encontra-se arquivado na Coordenação do PPGAG, conforme Norma aprovada pelo Colegiado do Programa."

Dedico este trabalho a minha família, aos meus pais (Neiva e Flavio),
ao meu esposo Lucas e a minha irmã (Neila).

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pela saúde, pela força e proteção durante esses três anos e meio de jornada.

A minha orientadora Prof^a. Dr^a. Tangriani Simioni Assmann, que me acolheu de braços abertos ainda que não me conhecesse. Agradeço pela confiança, pelo incentivo, pelo apoio e compreensão, além dos ensinamentos compartilhados além da agronomia durante esta trajetória.

Agradeço também meu coorientador, Prof. Dr. André Brugnara Soares, pela confiança, apoio e conhecimentos compartilhados.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realização do doutorado.

Agradeço imensamente ao grupo de iniciação científica GISPA - Grupo de Interação Solo Planta Animal, que colaboraram em todas as etapas (campo e laboratório) e foram peças fundamentais para a realização deste trabalho. E aos estudantes de iniciação científica da UNISEP de Dois Vizinhos orientados do prof. Acir F. G. Carvalho, que sempre estiveram dispostos a auxiliar nas avaliações a campo.

Agropecuária Pacheco, em especial ao proprietário Caetano Pacheco pela confiança, investimento e por acreditar na pesquisa em sistema de integração Lavoura-Pecuária.

Ao amigo Acir F. G. Carvalho pelo companheirismo, dinamismo, comprometimento durante este período. Foram muitas angústias e risadas, que transformaram-se em aprendizado, chegando à finalização de nossos trabalhos.

Aos meus colegas/amigos de pós-graduação, Anderson C. Rhoden, Wilson H. Tatto, Márcio Pigoso, Rosangela C. de Lima, Talyta Zórtea, Ricardo B. Aiolfi, Luryan T. Kagimura, Felipe Deifeld, Pablo A. Beltrán, pela ajuda e discussões a respeito do experimento e da tese.

Em especial, a Rosangela C. de Lima, a Jéssica M. Nermirski e Rafaela D. Rintzel, que me acolheram em suas casas em Pato Branco durante essa jornada, proporcionaram momentos de descontração, discussões e conhecimento, tornando-se amigas.

A Central de Análises da UTFPR campus Pato Branco pelo auxílio nas análises de nutrientes em plantas.

A prof. Larissa Macedo dos Santos pelo auxílio e momentos de descontração criados durante esse período.

Ao colega Dr. Marcos A. de Bortolli e a Dra. Marieli Maccari que no início dessa jornada compartilharam seus conhecimentos do experimento, me auxiliando a gerir melhor meu trabalho.

Á toda minha família, meus pais, minha irmã, pela educação, pelo incentivo e apoio nessa jornada. Ao meu esposo Lucas, por todo amor e carinho, pela compreensão, paciência e companheirismo dedicados a mim nesse momento.

Enfim, a todos que, de alguma forma, me apoiaram, participaram, auxiliaram e torceram pela execução desse trabalho. Meu muito obrigado!!

“Se você quer transformar o mundo, experimente primeiro promover o seu aperfeiçoamento pessoal e realizar inovações no seu próprio interior. Estas atitudes se refletirão em mudanças positivas no seu ambiente familiar. Deste ponto em diante, as mudanças se expandirão em proporções cada vez maiores. Tudo o que fazemos produz efeito, causa algum impacto.”

Dalai Lama.

RESUMO

LEVINSKI-HUF, Flávia. Adubação de sistemas e comportamento dos nutrientes em sistema de integração Lavoura-Pecuária. 194 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

O presente trabalho foi conduzido em uma propriedade agropecuária localizada no município de Abelardo Luz – SC, no ano agrícola de 2015/2016, consistindo na sucessão de três cultivos no sistema de ILP de longa duração, intitulando-os em fases, Fase I= pastagem, Fase II= milho silagem e Fase III= feijoeiro em 2ª safra. Desse modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da interação entre a aplicação de adubação nitrogenada nas diferentes fases de cultivo do sistema ILP com distintas pressões de pastejo sobre o comportamento de nitrogênio, fósforo e potássio no solo, o estado nutricional do milho silagem e feijoeiro em 2ª safra, bem como avaliar a produtividade destes cultivos em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com três repetições, distribuídos em esquema fatorial (2x2), o primeiro fator foi Tempo de Adubação de N: N aplicado na pastagem (N-Adubação Pastagem) e N aplicado na cultura de grãos (N-Adubação Grãos), na dose de 200 kg de N ha⁻¹. O segundo fator foi a Altura de Pasto, caracterizada por duas alturas de manejo da pastagem (Alta Altura e Baixa Altura). O uso da prática de adubação de sistemas não provocou perda por lixiviação de N-NO₃⁻ no perfil do solo, mesmo quando realizada em uma única aplicação de 200 kg de N ha⁻¹. A baixa altura de pasto intensifica a ciclagem de nutrientes por potencializar as práticas de adubação nitrogenada, devido a mudanças provocadas na biota do solo e na qualidade do resíduo remanescente sobre o solo (palhada). A adubação nitrogenada em cobertura no azevém proporcionou maiores teores de P disponível no solo após a aplicação de N. O pastejo e a adubação nitrogenada em cobertura no azevém estimulam o crescimento e rebrota das plantas, provocando absorção de K pelas plantas, reduzindo a possibilidade de perdas. No cultivo do milho para silagem em ILP é possível alcançar níveis adequados de nutrição nitrogenada com a aplicação de nitrogênio em cobertura na pastagem no inverno, bem como, na própria cultura no verão. A curva de diluição proposta por Lemaire e Salette (1984) para espécies de plantas C3 não se mostrou adequada para a diagnose do estado nutricional nitrogenado para a cultura do feijoeiro. O uso de adubação nitrogenada em cobertura na pastagem e o manejo em menor intensidade de pastejo proporciona maior produção de forragem total do azevém. As maiores produtividades de feijoeiro foram obtidas com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura no estádio V4.

Palavras-chave: Adubação nitrogenada. Nitrato. Amônio. Altura de pasto. Rotação de culturas. Manejo de pastagem.

ABSTRACT

LEVINSKI-HUF, Flávia. System level Fertilization and behavior of nutrient in Crop-Livestock integration system. 194 f. Thesis (Ph. D. in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Crop), Federal University of Technology Paraná. Pato Branco, 2018.

The present work was conducted in an agricultural property located in the municipality of Abelardo Luz - SC, in the agricultural year of 2015/2016, consisting of the succession of three crops in the long - term ILP system, titling them in phases, Phase I = pasture , Phase II = silage maize and Phase III = bean second harvest. Thus, the objective of this work was to evaluate the effect of the interaction between the application of nitrogen fertilization in the different stages of cultivation of the ILP system with different grazing pressures on the nitrogen, phosphorus and potassium behavior in the soil, the nutritional status of corn silage and the bean crop, and evaluate the productivity of these crops in a crop-livestock integration system. The experimental design was a randomized block design with three replications, distributed in a factorial scheme (2x2), the first factor was N: N fertilization time applied to pasture (N-Pasture fertilization) and N applied to grain crops (N-Grain Fertilization) at a dose of 200 kg of N ha⁻¹. The second factor was the Grass Height, characterized by two pasture management heights (High Height and Low Height). The use of systems fertilization practice did not cause loss of N-NO₃⁻ leaching in the soil profile, even when performed in a single application of 200 kg of N ha⁻¹. The low grass height intensifies nutrient cycling by potentiating the nitrogen fertilization practices, due to changes in soil biota and the quality of the residue remaining on the soil (straw). Nitrogen fertilization in ryegrass cover provided higher levels of available P in the soil after N application. Grazing and nitrogen fertilization on ryegrass cover stimulate plant growth and regrowth, causing K uptake by plants, reducing the possibility of losses. In the cultivation of maize for silage in ILP it is possible to reach adequate levels of nitrogen nutrition with the application of nitrogen in winter pasture cover, as well as in the crop itself in the summer. The dilution curve proposed by Lemaire e Salette (1984) for C3 plant species was not adequate for the diagnosis of nitrogen nutritional status for bean culture. The use of nitrogen fertilization in pasture cover and the management of less grazing intensities provides greater production of total ryegrass forage. The highest yields of common bean were obtained with the application of 100 kg ha⁻¹ of N in coverage in the V4 stage.

Keywords: Nitrogen fertilization. Nitrate. Ammonium. Grass height. Rotation of cultures. Pasture management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização e levantamento planialtimétrico do experimento de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC. UTFPR Campus Pato Branco, 2018.....	52
Figura 2 – Histórico experimental ilustrando os cultivos, épocas de implantação e tratamentos em cada fase de experimento. Ênfase os cultivos deste experimento (quadro amarelo). UTFPR Campus Pato Branco, 2018.....	53
Figura 3 – Croqui experimental com a disposição dos tratamentos na fase I, pastagem de azevém, Abelardo Luz – SC, UTFPR Campus Pato Branco, 2018.....	56
Figura 4 – Balanço hídrico da Fase I pastagem de azevém no inverno de 2015, tratos culturais e avaliações (A) e coletas de solo (B), Abelardo Luz, SC. UTFPR Campus Pato Branco, 2018.....	59
Figura 5 – Croqui experimental com a disposição dos tratamentos na fase II e alocação das subparcelas na fase III no cultivo de feijoeiro em 2ª safra, Abelardo Luz – SC. UTFPR Campus Pato Branco, 2018.....	61
Figura 6 – Balanço hídrico da Fase II milho silagem verão de 2015/2016, tratos culturais e avaliações (A) e coletas de solo (B), Abelardo Luz, SC. UTFPR Campus Pato Branco, 2018.....	63
Figura 7 – Croqui experimental com a alocação das subparcelas na fase III no cultivo de feijoeiro em 2ª safra, Abelardo Luz – SC. UTFPR Campus Pato Branco, 2018.....	65
Figura 8 – Balanço hídrico da Fase III feijão 2ª safra verão 2016, tratos culturais e avaliações (A) e coletas de solo (B), Abelardo Luz, SC. UTFPR Campus Pato Branco, 2018.....	67
Figura 9 – Teor de N-Amônio após: o cultivo de soja, a adubação de N no azevém, a saída dos animais da pastagem, a adubação de N no milho silagem e a colheita do milho silagem, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e do manejo da Altura de Pasto na pastagem cultivada no inverno de 2014 (Alta Altura e Baixa Altura), amostragem do solo no início da fase de inverno de abril de 2015.....	79
Figura 10 – Teor de N-Nitrato após o cultivo de soja, a adubação de N no azevém, a saída dos animais da pastagem, a adubação de N no milho silagem e a colheita do milho silagem, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e do manejo da Altura de Pasto na pastagem cultivada no inverno de 2014 (Alta Altura e Baixa Altura), amostragem do solo no início da fase de inverno de abril de 2015.....	88
Figura 11 – Sistema radicular de azevém Winter Star no período de inverno de 2016, manejado a Alta Altura do Pasto e submetido a 200 kg ha ⁻¹ de N em cobertura no perfilhamento, em única aplicação.....	90
Figura 12 – Teor de N-amônio (N-NH ₄) (A; B) no solo mg kg ⁻¹ , quinze dias após a aplicação de doses crescentes de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro em safrinha, em função do tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação grãos) e das altas Alturas de pasto (Alta Altura e Baixa Altura), fase III verão de janeiro de 2016.....	100
Figura 13 – Teor de N-nitrato (N-NO ₃) no solo mg kg ⁻¹ , quinze dias após a aplicação de doses crescentes de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro em safrinha, em função do Tempo de Adubação Nitrogenada e do manejo da altura do pasto, fase III verão de janeiro de 2016.....	101
Figura 14 – Teor de N-nitrato (N-NO ₃) no solo mg kg ⁻¹ , quinze dias após a aplicação de doses crescentes de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro em safrinha, em função do Tempo de Adubação de N, das Doses Crescentes de N aplicadas no feijoeiro e da Profundidade de Amostragem do solo, fase III verão de janeiro de 2016.....	102
Figura 15 – Teor de N-nitrato (N-NO ₃) no solo mg kg ⁻¹ , quinze dias após a aplicação de doses crescentes de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro em safrinha, em função da Profundidade de Amostragem no solo para as parcelas N-Adubação Pastagem, fase III verão de janeiro de 2016.....	104
Figura 16 – Teor de P no solo (mg dm ⁻³), após o cultivo de soja, em função da Profundidade de Amostragem do solo, coleta do solo no início da fase I, inverno de abril de 2015.....	107
Figura 17 – Teor de P no solo (mg dm ⁻³), treze dias após adubação de N no azevém inverno 2015, em função da Altura de Pasto e da Profundidade de Amostragem do solo, fase I.....	108
Figura 18 – Teor de P no solo (mg dm ⁻³), dois dias após a saída dos animais da pastagem de azevém inverno de 2015, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e da Profundidade de Amostragem do solo, final da fase I.....	109
Figura 19 – Teor de P no solo (mg dm ⁻³), dois dias após a saída dos animais da pastagem de azevém inverno de 2015, em função do manejo da Altura de Pasto (Alta Altura e Baixa Altura) e da Profundidade de Amostragem do solo, final da fase I.....	111

- Figura 20** – Teor de P disponível no solo mg dm^3 , quinze dias após a aplicação de doses crescentes de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro em safrinha, em função do tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação grãos), das doses crescentes de N aplicados no feijoeiro e da Profundidade de Amostragem do solo, fase III verão de fevereiro de 2016..... 112
- Figura 21** – Teor de K no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^3$), após o cultivo da soja, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e da Profundidade de Amostragem do solo, no início da fase de inverno de abril de 2015, fase I inverno 2015.....114
- Figura 22** – Teor de K no solo ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), após o cultivo da soja no início da fase de inverno de abril de 2015, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e da altura de pasto (Alta Altura=25 cm e Baixa Altura=10cm), fase I inverno 2015. 116
- Figura 23** – Teor de K no solo ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), treze dias após adubação de N no azevém inverno 2015, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Grãos e N-Adubação Pastagem), da Altura de Pasto (Alta Altura=25 cm e Baixa Altura=10 cm) e da Profundidade de Amostragem do solo, fase I..... 117
- Figura 24** – Teor de K no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^3$), dois dias após a saída dos animais do azevém inverno 2015, em função da Profundidade de Amostragem do solo, fase I.....119
- Figura 25** – Teor de K no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^3$), dois dias após a saída dos animais da pastagem de azevém inverno de 2015, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e da Altura de Pasto (Alta altura e Baixa Altura), fase I.....120
- Figura 26** – Teor de K no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^3$), quinze dias após a aplicação de doses crescentes de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro em safrinha, em função da Profundidade de Amostragem do solo, fase III verão de fevereiro de 2016.....122
- Figura 27** – Teor de K no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^3$), quinze dias após a aplicação de doses crescentes de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro em safrinha, em função do tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação grãos), das doses crescentes de N aplicados no feijoeiro e da Altura de Pasto (Alta Altura=25 cm e Baixa Altura=10 cm), fase III verão de fevereiro de 2016..... 123
- Figura 28** – Concentração de N no Milho Silagem de acordo com o tempo de adubação nitrogenada em relação à massa seca acumulada, comparada com a curva de diluição de nitrogênio para plantas C4 ($N_{\text{crit}} = 3,4\text{MS}^{-0,37}$) proposta por Lemaire (1997), em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz – SC, 2015/2016.....126
- Figura 29** – Concentração de N no Milho Silagem de acordo com o tempo de adubação nitrogenada e altura de pasto em relação à massa seca acumulada, comparada com a curva de diluição de nitrogênio para plantas C4 ($N_{\text{crit}} = 3,4\text{MS}^{-0,37}$) proposta por Lemaire (1997), em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz – SC, 2015/2016.....129
- Figura 30** – Concentração de N no feijoeiro IAC Milênio de acordo com as doses crescentes de adubação nitrogenada em relação à massa seca acumulada para cada dose de N aplicada no estádio V4, comparada com a curva de diluição de nitrogênio para plantas C3 ($N_{\text{crit}} = 4,8\text{MS}^{-0,32}$) proposta por Lemaire e Salette (1984), em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz – SC, 2016.....133
- Figura 31** – Curva crítica de diluição de nitrogênio para o feijão de acordo com as doses de adubação nitrogenada e a massa seca acumulada na cultura de feijão IAC Milênio, Abelardo Luz – SC, 2016..... 137
- Figura 32** – Concentração de N no feijoeiro IAC Milênio de acordo com as doses crescentes de adubação nitrogenada em relação à massa seca acumulada para cada dose de N aplicada no estádio V4, comparada com a curva de diluição de nitrogênio proposta para o feijoeiro ($N_{\text{crit}} = 3,62 \text{MS}^{-0,20}$) neste trabalho, em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz – SC, 2016..... 138
- Figura 33** – Concentração de N no feijoeiro IAC Milênio em função do tempo de adubação nitrogenada (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) em relação à massa seca acumulada para cada dose de N aplicada no estádio V4, comparada com a curva de diluição de nitrogênio proposta para o feijoeiro ($N_{\text{crit}} = 3,62\text{MS}^{-0,20}$) neste trabalho, em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz – SC, 2016.....140
- Figura 34** – Rendimento de grãos (kg ha^{-1}) de Feijoeiro cultivar IAC Milênio na safrinha 2016, em função de doses crescentes de Nitrogênio aplicados em cobertura, Abelardo Luz – SC, 2016..... 147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de solo com valores de matéria orgânica (MO), macronutrientes, alumínio (Al ³⁺), acidez potencial (H ⁺ Al), saturação de bases (V%) e saturação por alumínio (m%), na profundidade de 0-20 cm anterior a implantação da cultura do milho em 2015, UTFPR, Pato Branco, PR, 2018.....	53
Tabela 2 – Teor de N-amônio (N-NH ₄ ⁺) mg kg ⁻¹ , um dia após a colheita do milho silagem verão 2015/2016, nas parcelas Alta Altura de pasto em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos), final Fase II. UTFPR, Pato Branco, 2018.....	83
Tabela 3 – Estimativas dos parâmetros a e b do modelo % N = a (MS)-b, afetadas pela combinação dos tratamentos tempo de adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e altura de pasto (Alta altura e Baixa altura), no Milho Silagem em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2015/2016. UTFPR, Pato Branco, PR, 2018.....	129
Tabela 4 – Estimativas dos parâmetros a e b do modelo % N = a (MS)-b, afetadas pelas doses crescentes de N (0, 50, 100 e 150 kg de N ha ⁻¹) em cobertura no feijoeiro IAC Milênio em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2016. UTFPR, Pato Branco, PR, 2018.....	133
Tabela 5 – Estimativas dos parâmetros a e b do modelo % N = a (MS)-b, afetadas pelas doses crescentes de N (0, 50, 100 e 150 kg de N ha ⁻¹) em cobertura no feijoeiro IAC Milênio em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2016. UTFPR, Pato Branco, 2018.....	138
Tabela 6 – Estimativas dos parâmetros a e b do modelo % N = a (MS)-b, afetadas pelas doses crescentes de N (0, 50, 100 e 150 kg de N ha ⁻¹) em cobertura no feijoeiro IAC Milênio em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2016. UTFPR, Pato Branco, 2018.....	140
Tabela 7 – Produção de Forragem Total de Azevém, Fase I inverno de 2015, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e do manejo da Altura de Pasto na pastagem cultivada no inverno de 2015 (Alta Altura e Baixa Altura), em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2015. UTFPR, Pato Branco, 2018.	142
Tabela 8 – Produção de Matéria Seca do Milho Silagem, Fase II verão 2015/2016, em função do manejo da Altura de Pasto na pastagem cultivada no inverno de 2015 (Alta Altura e Baixa Altura), em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2015/2016. UTFPR, Pato Branco, 2018.....	144
Tabela 9 – Componente de Rendimento, Peso de Mil Grãos do Feijoeiro, Fase III verão 2016, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos), em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2016. UTFPR, Pato Branco, 2018.....	148
Tabela 10 – Componente de Rendimento, Número de Vagens por Planta de Feijoeiro, Fase III verão 2016, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e do manejo da Altura de Pasto na pastagem cultivada no inverno de 2014 (Alta Altura e Baixa Altura), em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2016. UTFPR, Pato Branco, 2018.....	150
Tabela 11 – Componente de Rendimento, Número de Vagens por Planta de Feijoeiro, Fase III verão 2016, em função das Doses Crescentes de N aplicadas no feijoeiro, em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2016. UTFPR, Pato Branco, 2018.....	150
Tabela 12 – Componente de Rendimento, Número de Grãos por Vagem de Feijoeiro, Fase III verão 2016, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos), em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2016. UTFPR, Pato Branco, 2018.....	151

LISTA DE SIGLAS, ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

ILP	Integração Lavoura-Pecuária
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
PR	Unidade da Federação – Paraná
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
SC	Unidade de Federação – Santa Catarina
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão de Santa Catarina
MO	Matéria orgânica
N-Adubação Pastagem	Nitrogênio aplicado em cobertura no perfilhamento da pastagem de azevém inverno de 2015
N-Adubação Grãos	Nitrogênio aplicado em cobertura na cultura de grãos, milho silagem e feijoeiro em 2ª safra 2015/2016
N	Nitrogênio
MS	Matéria seca
Ncrit	Nitrogênio crítico
N %	Porcentagem de Nitrogênio
CTC	Capacidade de troca de cátions
CTA	Capacidade de troca de ânions
KCl	Cloreto de potássio
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio presente no fertilizante comercial
CQFS	Comissão de Química e Fertilidade do Solo

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
% de N	Porcentagem de nitrogênio
N-NO ₃	Nitrogênio na forma de nitrato
N-NH ₄	Nitrogênio na forma de amônio
P	Fósforo disponível no solo
K	Potássio disponível no solo
<	Menor
>	Maior
=	Igual
Ca	Cálcio
Al ₃ ⁺	Alumínio
H+Al	Hidrogênio + Alumínio
cm ²	Centímetro quadrado
m ²	Metro quadrado
mg kg ⁻¹	Miligramas por quilograma
mg	Miligrama
kg	Quilograma
ha ⁻¹	Por hectare
kg ha ⁻¹	Quilograma por hectare
Mg	Megagrama
P<0,05	Menor que 5 % de significância
V%	Saturação por bases
g	Gramas
g dm ⁻³	Gramas por decímetro cúbico
cmol _c dm ⁻³	Centimol por decímetro cúbico
Mg	Magnésio
pH	Potencial de hidrogênio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 NITROGÊNIO NO SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.....	20
2.2 FÓSFORO NO SOLO E EM SISTEMA DE ILP.....	27
2.3 POTÁSSIO NO SOLO EM SISTEMA DE ILP.....	32
2.4 ESTADO NUTRICIONAL DE PLANTAS.....	37
2.5 ADUBAÇÃO NITROGENADA EM PASTAGENS ANUAIS DE INVERNO.....	42
2.6 MANEJO DA ALTURA DE PASTO E ADUBAÇÃO NITROGENADA.....	44
2.7 ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CULTURAS DE GRÃOS.....	46
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	49
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	49
3.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	53
3.2.1 Fase I: Pastagem de Azevém.....	53
3.2.2 Fase II: Milho silagem.....	58
3.2.3 Fase III: Feijoeiro em 2ª safra.....	62
3.3 VARÁVEIS ANALISADAS.....	66
3.3.1 Avaliação do comportamento dos nutrientes no solo.....	66
3.3.2 Avaliação de nutrientes em plantas de milho silagem e feijoeiro 2ª safra.....	67
3.3.3 Produção de Matéria Seca e Produtividade de Grãos de plantas.....	69
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	72
3.4.1 Avaliação do comportamento dos nutrientes no solo.....	72
3.4.2 Avaliação de nutrientes em plantas de milho silagem e feijoeiro 2ª safra.....	72
3.4.3 Produção de matéria seca e Produtividade de grãos de plantas.....	73
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	74
4.1 COMPORTAMENTO DE NUTRIENTES NO SOLO.....	74
4.1.1 Comportamento de N-Mineral no solo na forma de N-Amônio.....	74
4.1.2 Comportamento de N-Mineral no solo na forma de N-Nitrato.....	84
4.1.3 Comportamento de N-Mineral no solo após a adubação de N em cobertura do feijoeiro em safrinha.....	96
4.1.4 Comportamento do Fósforo no solo.....	104
4.1.5 Comportamento de Potássio no solo.....	111
4.2 ESTADO NUTRICIONAL DE PLANTAS.....	122
4.2.1 Milho Silagem: Curva de diluição de nitrogênio.....	122
4.2.2 Feijoeiro: Curva de diluição de nitrogênio.....	129
4.2.3 Determinação da curva crítica de nitrogênio no Feijoeiro.....	134
4.3 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE PLANTAS.....	140
4.3.1 Fase I: Produção de Forragem Total do Azevém.....	140
4.3.2 Fase II: Produção de Matéria Seca do Milho silagem.....	142
4.3.3 Fase III: Produtividade do Feijoeiro em safrinha.....	144
5 CONCLUSÕES.....	151
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	154
REFERÊNCIAS.....	156
ANEXOS.....	171

1 INTRODUÇÃO GERAL

A busca por sustentabilidade nas propriedades agrícolas é constante, carecendo da prática de sistemas de produção intensivos no uso de recursos disponíveis nos agrossistemas, concomitante com a melhoria da qualidade do solo, o qual é à base da produção agropecuária e sobrevivência do mundo, a fim de reduzir o consumo de insumos e gerar maior renda por área.

Assim, o sistema de Integração Lavoura – Pecuária (ILP) desenvolveu-se como uma opção de diversificação e intensificação das áreas tipicamente agrícolas e/ou de pecuária, com o intuito de produzir grãos para reformar pastagens e carnes para diversificar a renda e reciclar nutrientes. A associação entre agricultura e pecuária em uma mesma área permite maiores retornos econômicos ao produtor rural, devido à otimização de recursos naturais gerados que são passíveis de retorno para uso na produção animal e vegetal.

Como todo sistema, a ILP possui seus conceitos básicos como manter a área sobre sistema de plantio direto, com rotação de cultivos, manejar corretamente as pastagens, buscar uma produção animal intensiva em pastejo, utilizar insumos de forma correta e genótipos melhorados para obter melhores produções. Dessa forma, é possível obter vários benefícios com a adoção do sistema de integração lavoura-pecuária, como: a melhoria da fertilidade do solo e das pastagens degradadas, com a diversificação de culturas e aumento da diversidade biológica do sistema tem-se um melhor controle de plantas daninhas e redução de pragas nos cultivos, além da diversificação de renda e da conservação do solo.

No entanto, um dos entraves na adoção e sucesso do sistema ILP nas propriedades agrícolas está relacionado ao manejo de adubação, principalmente, a nitrogenada. Uma vez que, a interpretação das condições de fertilidade do solo, bem como, sua recomendação nesse sistema precisa ser visualizada considerando um novo paradigma, a Adubação de Sistemas. A adubação de sistemas apresenta um modelo baseado na ciclagem de nutrientes entre as diferentes fases de um sistema (sucessão de cultivos em uma mesma área). Entende-se que se precisa construir a fertilidade do solo para atender ambas as fases de cultivo na mesma área, produção

de grãos e de pastagem, de tal modo, podem ocorrer diversas interferências do cultivo antecedente sobre a cultura em foco. Notadamente, os efeitos estão relacionados aos nutrientes, com uma maior eficácia na reciclagem de nutrientes podendo reduzir a necessidade de fertilização, bem como, aumentar as produtividades e reduzir perdas no sistema, melhorando a fertilidade em longo prazo.

Em geral, esta abordagem contrasta com as recomendações de adubação de áreas agrícolas realizadas no modelo tradicional, com fertilização específica na cultura a ser implantada, em que na maioria das vezes é de grãos. Neste modelo de adubação é avaliado apenas o efeito isolado de um determinado nutriente, raramente analisando o efeito residual destas adubações, bem como, as modificações que estas podem causar no sistema solo-planta-animal. Já, a adubação de sistemas considera todas as culturas envolvidas na rotação (culturas agrícolas, adubos verdes e pastagens) na dinâmica de reciclagem de nutrientes. A reciclagem de nutrientes entre os cultivos pode se dar de forma direta via formas inorgânicas, ou indiretas, via formas orgânicas provenientes do processo de mineralização.

Outro entrave no sistema ILP caracteriza-se pelo manejo incorreto da pastagem, que pode ocasionar em redução do aporte de resíduos sobre o solo por excesso de carga animal, afetando a interface de reciclagem dos nutrientes no solo, além da exposição do mesmo prejudicando sua estrutura e qualidade para manutenção do equilíbrio químico, físico e biológico do solo.

São diversos os trabalhos sobre manejo de pastagem e uso de nitrogênio em pastagem, todavia, a maioria estuda separadamente a intensidade de pastejo e a adubação nitrogenada, e pouco se sabe sobre a interação desses fatores no manejo da ILP. Uma vez que, a adubação nitrogenada além de proporcionar maior produção de forragem, pode melhorar o desempenho de culturas semeadas em sucessão devido ao efeito residual do nitrogênio no solo.

A interface para o aproveitamento do N residual é proporcionada pela palhada residual sobre o solo, porém, a velocidade de decomposição e a liberação de nutrientes dos resíduos vegetais é baseada na relação C:N dos mesmos. Desse modo, nas gramíneas que apresentam elevada relação C:N pode ocorrer a imobilização microbiana dos nutrientes, tornando indisponíveis plantas naquele dado

momento. No entanto, em sistema de ILP a dinâmica de decomposição dos resíduos remanescentes no solo é alterada pela presença do animal, uma vez que o mesmo provoca o aumento da velocidade de retorno dos nutrientes ao sistema de produção, como um catalisador. Pois, as deposições constantes de fezes e urina no solo aumentam a atividade biológica decompondo rapidamente os resíduos e retornando ao sistema. Além disso, as constantes renovações foliares da pastagem elevam o turnover dos nutrientes no solo, bem como, a disponibilidade destes nutrientes para a pastagem e para cultura de grãos sucessora, principalmente o nitrogênio (MACCARI, 2016).

Desse modo, torna-se importante à busca por metodologias de avaliação do efeito residual dos nutrientes no solo, especialmente o nitrogênio, bem como, a dinâmica de reciclagem de nutrientes em sistemas de integração lavoura-pecuária sob adubação de sistemas. Uma vez que, pesquisas de adubação e manejo de pastagens são focadas em períodos curtos e específico a um dado cultivo, sem visualização do sistema como um todo, principalmente, a interação entre processos químicos e biológicos no solo.

Um dos parâmetros de avaliação do efeito residual dos nutrientes é a determinação dos mesmos no solo, no caso do nitrogênio mineral se busca representar a quantidade de N na forma de nitrato e amônio no solo. Essa avaliação permite obter o resultado de uma adubação via fertilizante mineral, demonstrando possíveis perdas quando análise em profundidade, bem como, do efeito residual de adubações e da reciclagem de nutrientes ao final dos cultivos. Contudo, a recomendação de adubações no sistema não pode ser baseada em um único parâmetro. Dessa forma, em conjunto com a avaliação dos nutrientes no solo pode-se avaliar as condições de maior disponibilidade dos mesmos, devido a presença do efeito residual das fertilizações prévias, refletida no estado nutricional da cultura a ser implantada na sequência.

A avaliação do estado nutricional de plantas é fundamental para o manejo adequado de adubação, principalmente o nitrogênio, que apresenta uma dinâmica complexa no solo e que depende das condições ambientais e da atividade biológica para sua disponibilidade as plantas. Uma forma de avaliar o estado nutricional nitrogenado de uma cultura em seu estágio inicial de crescimento é via

curvas de diluição de nitrogênio. Segundo Lemaire (1997), quando concentrações de N na parte aérea de plantas em função do acúmulo de matéria seca estão acima às calculadas para plantas C4 ou plantas C3, estas plantas encontram-se bem nutridas e pode estar ocorrendo um consumo de luxo do nutriente. Por outro lado se a concentração de N encontra-se abaixo desta curva provavelmente as plantas estão passando por um processo de deficiência do nutriente.

Nesse contexto, com base na hipótese que existe efeito residual de nutrientes no solo o presente trabalho busca avaliar o efeito da interação entre a aplicação de adubação nitrogenada nas diferentes fases de cultivo do sistema ILP com distintas alturas de pastejo sobre o comportamento de nitrogênio, fósforo e potássio no solo, o estado nutricional de nitrogênio do milho silagem e feijoeiro em 2ª safra, bem como avaliar a produtividade destes cultivos em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Nitrogênio no sistema de integração Lavoura-Pecuária

Em sistema de integração Lavoura-Pecuária, o comportamento dos nutrientes passa a ser visualizado em todos os compartimentos que os circundam, nesse caso, no sistema solo-planta-animal. Todavia, os nutrientes, dentre eles o nitrogênio, foram normalmente acompanhados diante da dinâmica do sistema solo-planta. Assim, foram obtidas conclusões a respeito da essencialidade dos nutrientes para fazer parte do sistema, bem como, daqueles nutrientes considerados construtores dos organismos, que fazem parte da sua estrutura (Carbono (C), Hidrogênio (H), Oxigênio (O) e Nitrogênio (N)) (ANGHINONI et al., 2011).

Em todos os sistemas o nitrogênio é um macronutriente essencial, constituindo vários componentes da célula vegetal, como aminoácidos, clorofila, proteínas e ácidos nucleicos. Desse modo, as principais reações bioquímicas em plantas e microrganismos são geridas pela presença de N, tornando-o um dos elementos absorvidos em maiores quantidades por plantas cultivadas (CANTARELLA, 2007).

Todavia, a sua deficiência inibe rapidamente o crescimento vegetal e gera sintomas de clorose (amarelecimento das folhas) (TAIZ; ZEIGER, 2013). Além disso, o N está envolvido no processo de fotossíntese, devido fazer parte da molécula de clorofila. Por isso, a deficiência do mesmo pode proporcionar menor síntese de clorofila, o que não permitiria que a planta utiliza-se a luz solar como fonte de energia no processo fotossintético; deste modo, a planta perde a habilidade de executar funções essenciais, como por exemplo, a absorção de nutrientes (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

No sistema solo-planta o ciclo do nitrogênio é complexo, uma vez que, a maior fração do mesmo encontra-se na matéria orgânica do solo (MOS) ou como parte dos microrganismos. O N pode ingressar no sistema por deposições atmosféricas, fixação biológica, adubações químicas (ureia) ou orgânicas (resíduos animais) (ASSMANN et al., 2008). O mesmo pode deixar o sistema por meio da

remoção pelas culturas e mecanismos de perdas no solo e ar (lixiviação e volatilização) (CANTARELLA, 2007).

No solo o estoque de N na forma orgânica representa mais de 95% do nitrogênio total. Entretanto, a disponibilização de N para as plantas depende do processo de mineralização da matéria orgânica, liberando o N inorgânico. Ou seja, ocorre à transformação de N da forma orgânica para inorgânica, esta forma é composta pelo amônio (NH_4^+), ou ainda, o NH_4^+ é nitrificado, gerando nitrato (NO_3^-), ambas as formas dos íons são absorvidas pelas plantas. A fração de N total no solo que participa dos ciclos de reações de mineralização/imobilização varia com o tipo de solo e o manejo adotado do mesmo. Por sua vez, sistemas como o plantio direto tendem a proporcionar maior reciclagem do N do que sistemas mais pobres em fornecimento de resíduos vegetais (NOVAIS et al., 2007).

No entanto, com o uso de sistema de ILP a dinâmica de nutrientes é modificada. Ora que, as mudanças provocadas pelo pastejo na estrutura da planta e a presença do animal adicionando constantemente urina e fezes na área, perfazem fatores que influenciam nas frações de N presente no solo. Entretanto, em muitas situações onde não acontece o fornecimento de uma fonte de nitrogênio mineral ao solo, origina-se o processo de mineralização da matéria orgânica que disponibilizará o nitrogênio às plantas, muitas vezes limitando altas produções de biomassa pela cultura (MACCARI, 2016).

A suplementação de N mineral no solo, por meio de adubação nitrogenada altera o processo de decomposição dos resíduos orgânicos presentes no solo e a disponibilização de N para a planta. Todavia, com a aplicação de N mineral por meio da fertilização, a disponibilização do N para a cultura ainda dependerá dos processos de mineralização e imobilização, que é altamente influenciado pela presença de C orgânico no solo (LEMAIRE et al., 2004).

Nesse sentido, Anghinoni et al. (2015), afirmam não ser coerente, concentrar toda a adubação na semeadura da cultura de grãos. Uma vez que, em trabalho realizado pelos autores, após a colheita da soja, na média de oito safras, foram exportados 167, 35 e 63 kg ha^{-1} , respectivamente, de N, P_2O_5 e K_2O , sendo a maior parte do N fixado pelo rizóbio. No entanto, após a saída dos animais, na média de 10 anos e dos tratamentos de pastejo ($\text{PV} = 360 \text{ kg ha}^{-1}$), foram exportados

anualmente somente 14; 6 e 0,6 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Portanto, considerando o funcionamento do sistema, o correto seria alterar a lógica de adubação, adubando mais a pastagem (N, P e K) e menos a cultura de grãos (P e K), para resultar em melhor rendimento do pasto e do animal, com maior aproveitamento da ciclagem de nutrientes no sistema e do N residual (ANGHINONI et al., 2013).

A alteração da lógica de adubação é denominada de adubação de sistemas, que se caracteriza por uma estratégia de aplicação de nutrientes com base na ciclagem dos mesmos para as plantas, operando com auxílio da microbiota do solo, visando melhorar a eficiência do uso dos nutrientes, principalmente do nitrogênio, melhorando custo benefício dos produtores e reduzindo contaminações ambientais (ASSMANN et al., 2007).

Assmann et al. (2003) trabalhando com cultivo de milho em áreas de ILP, verificaram que quando a pastagem foi adubada com 300 kg ha⁻¹ de N, não se obteve aumento no rendimento pela aplicação de mais N em cobertura no verão nessa mesma área, corroborando para a certificação da existência de efeito residual da adubação nitrogenada de inverno. Do mesmo modo, Bortolli (2016) não observou acréscimo da produtividade de milho com diferentes doses de N, quando essa lavoura recebeu 200 kg ha⁻¹ de N na pastagem, com baixa ou alta intensidade de pastejo, comparado com N recebido na cultura no verão. Sandini et al. (2011) também asseguram que o nitrogênio aplicado durante o inverno na pastagem antecedente a cultura de verão, influenciou a produtividade de grãos de milho.

Dessa forma, o N aplicado no inverno permite elevar rendimentos da pastagem e, conseqüentemente do produto animal, permanecendo no sistema para uso pela cultura sucessora de verão (especialmente gramíneas). Contudo, o N que não for recuperado pelas plantas poderá ficar retido no sistema, via imobilização nos resíduos orgânicos e microrganismos, como valor residual ou perdido por lixiviação, volatilização e erosão na superfície do solo (ASSMANN, 2001). Por sua vez, a eficiência de utilização do N pode variar por motivos de ordem meteorológica e pela época de aplicação do elemento, bem como pelos níveis de N previamente existentes no solo (BONA FILHO, 2002).

Freqüentemente a baixa taxa de recuperação de N observada em

trabalhos científicos (FONTOURA; BAYER, 2009) leva ao raciocínio que grande parte do mesmo é perdido, especialmente por perdas gasosas. Contudo, Lima (2018) em avaliação de perdas de N na forma de amônia (N-NH₃) constatou perdas inferiores a 1,5 % do total de N aplicado (200 kg ha⁻¹ de N, em única aplicação, fonte ureia) na fase pastagem de um em experimento de integração Lavoura-Pecuária, em dois anos agrícolas. Ainda, o mesmo autor observou perdas de N-NH₃ inferiores a 5,5 % na cultura do feijoeiro com aplicação de doses crescentes de N (50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N), na forma de ureia, ressaltando que quanto maior a dose de N, menores foram às perdas. De acordo com Liu et al. (2011), o aumento na taxa de fertilização na pastagem de Tifton resultou em maior imobilização do N, uma vez que este nutriente foi utilizado para crescimento da biomassa microbiana e posteriormente para decompor a palhada residual de maior relação C/N.

Ressalta-se que principalmente nos sistemas de cultivo tropicais e subtropicais, grande parte do N que não é absorvido pela parte aérea das plantas encontra-se imobilizado temporariamente nos microrganismos do solo (ASSMANN et al., 2018). Ainda, características intrínsecas ao solo, como o teor de argila, também é um grande aliado na manutenção do N ao solo. Uma vez que, o aumento do teor de argila do solo pode reduzir a perda de N-NH₃, possivelmente devido à adsorção de N-NH₄⁺ aos colóides do solo (AL-KANANI et al., 1991). O mesmo é reportado em estudo realizado por Sangoi et al. (2003).

Além disso, em estudo da associação de adubação de sistema com manejo de intensidades de pastagem, Bernardon (2016) constaram que a adubação nitrogenada na pastagem aumenta a disponibilidade de nitrogênio mineral no solo na camada de 0- 5 cm do solo, não visualizando lixiviação de N-NO₃ no perfil do solo avaliado com a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de N em única aplicação no perfilhamento da pastagem de aveia-preta + azevém.

Por outro lado, o manejo adequado da pastagem envolve a sustentabilidade da mesma e o balanço de nutrientes para suficiente produção de matéria seca. Esse manejo pode criar diferenças no fluxo de N no ecossistema pastagem, uma vez que, esse determina a importância relativa das vias de recuperação de N, recuperação interna via senescência foliar, e externa, via decomposição de fezes e urina ou aplicação de fertilizantes (SILVA et al., 2008).

A pastagem submetida em condições de baixa intensidade de pastejo aumenta a senescência das folhas e uma maior proporção de N contido nas folhas senescentes é remobilizada para as folhas novas, durante o crescimento da planta. Nessa condição, o nitrogênio interno da planta representa uma importante fonte de N caracterizando uma menor dependência de fontes externas desse nutriente (SILVA et al., 2008). Por outro lado, a pastagem em condições de alta intensidade de pastejo com frequência, o processo de senescência é reduzido, aumentando a dependência de fontes externas à planta para manter a sua produção de forragem constante. Desse modo, a fase pastagem é vista como o mecanismo regenerador do solo, em termos de acúmulo de C, N e redução de perdas de solo (LAMOTHE et al., 2014).

Portanto, a adição de resíduos de origem vegetal (palhada residual das fases de cultivo do sistema ILP) e animal ao solo tem a capacidade de estabelecer um fluxo de nutrientes, com magnitude de promover alterações na atividade biológica do solo, bem como, do estado de sua agregação, contribuindo ainda para o surgimento de propriedades emergentes do solo (LOVATO et al., 2004). Todavia, a velocidade de decomposição do resíduo depende de suas características constitutivas e da facilidade com que pode ser decomposto. Com isso, o fluxo contínuo de nutrientes provindo da liberação da decomposição dos esterco pode ser maior, quando comparado a gramíneas, pelo fato que o esterco já sofreu pré-decomposição no rúmen animal e isto fará com que alguns nutrientes estejam mais solúveis (ASSMANN, 2013).

A presença do animal no sistema provoca o aumento da velocidade de retorno dos nutrientes ao sistema de produção, como um catalisador. Pois, a deposição constante de fezes, urina no solo e a constante renovação foliar da pastagem elevam o turnover dos nutrientes no solo, bem como, a disponibilidade destes nutrientes para a pastagem e para cultura de grãos sucessora, principalmente o nitrogênio (MACCARI, 2016). Além disso, ocorre uma intensificação da atividade biológica do solo pelo incremento da matéria orgânica promovida pelo aporte de C e N dos restos culturais, principalmente pelas culturas de inverno (ANGHINONI et al., 2013) e dos dejetos animais, o que possibilita maior eficiência no uso de fertilizantes.

Outro fator abordado na dinâmica do N no solo é o teor de matéria orgânica. Uma vez que, o incremento de matéria orgânica e da biomassa microbiana pode aumentar a atividade da urease potencializando o processo de volatilização de amônia, entretanto, com o maior estoque de matéria orgânica em superfície há aumento da adsorção de NH_4^+ e da capacidade tampão do solo, que poderá limitar o processo de volatilização de N-NH_3 no sistema (ROJAS et al., 2012). Além disso, a umidade elevada do solo e os níveis de capacidade de troca de cátions na camada superficial são fatores importantes que também aumentam a capacidade tampão do solo (DORNELES et al., 2015; VIEIRA et al., 2008), como possíveis efeitos que diminuem a volatilização do N-NH_3 (FERGUSON et al., 1984).

Como visto anteriormente, em sistema de ILP uma grande proporção dos nutrientes consumidos pelos animais em pastejo retorna ao solo na forma de excretas, sendo a urina a principal fonte de N que retorna ao sistema, entorno de 62% do nitrogênio ingerido pela alimentação bovina, retorna ao solo via urina (RODRIGUES et al., 2008). Por sua vez, grande parte do N total está presente na forma de ureia (500 a 800 g de ureia para cada quilo de N total), que é hidrolisada rapidamente (ROTZ al., 2005), podendo ser absorvido pelas plantas ou perdido no ambiente. Desse modo, a um grande risco de perdas de nitrogênio pelo processo de lixiviação de nitratos em pontos de urina em relação as demais formas de perdas (PINEIRO et al., 2006).

Contudo, Lima (2018) avaliando a intensidade do processo de lixiviação de nitratos em sítios de deposição de urina dos animais em sistema de integração Lavoura-Pecuária, observou que ao longo dos doze dias avaliados a maior concentração de N-nitrato ocorreu no ponto central de micção e houve aumento dos teores de N-NO_3^- até o sexto dia de avaliação, ou seja, ocorreu o processo nitrificação de N no solo (RAIJ, 1991). Ainda, Assmann et al. (2018) observaram maiores concentrações de N-NO_3^- nas camadas superficiais do solo e redução das mesmas ao longo do perfil do solo (20-40 cm), demonstrando indícios que não ocorre o processo de lixiviação de nitratos.

O elemento químico nitrato (NO_3^-) é altamente solúvel em água e não é adsorvido pelas cargas negativas do solo (CTC), podendo ser perdido pelo processo de lixiviação (BISSANI et al., 2008). Contudo, essas perdas podem não ser

expressivas em sistemas pastoris bem manejados (TOWNSEND, 2011), pela alta demanda de nutrientes pelas pastagens.

Além disso, a deposição de urina estimula a atividade de bactérias nitrificadoras e desnitrificadoras no solo, devido conter alto teor de N em sua composição incrementando-o ao solo (ORWIN et al., 2010). A urina também provê outros recursos ao solo, como água, carbono lábil e enxofre, que estimulam a atividade microbiana e a biomassa no geral (HAYNES e WILLIAMS, 1993). Desse modo, os microrganismos do solo podem agir no sentido de diminuir as perdas de N, utilizando o N disponível para crescimento, imobilizando-o temporariamente.

Ainda, o pastejo estimula o rebrote das plantas e maior absorção de nutrientes, um exemplo são as plantas de azevém que oferecem benefícios na redução das perdas por lixiviação do N contido na urina pela sua alta capacidade de absorção (WOODS et al., 2017). Desse modo, se a disponibilidade de N-urina coincidir com a demanda de absorção da planta, as perdas de nitratos podem ser baixas ou inexistentes.

Do mesmo modo, as forrageiras tropicais também apresentam elevada capacidade de extração de nutrientes, dadas as características do sistema radicular em atingir profundidades superiores a 1,5 m, permitindo a absorção do N em camadas mais profundas do solo, impedindo assim que ocorram perdas pelo processo de lixiviação (MARTHA JÚNIOR et al., 2004).

Desse modo, a dinâmica dos nutrientes no sistema ILP se dá de forma diferenciada, devido aos processos de decomposição, mineralização, exportação e ciclagem de nutrientes ocorrerem de forma acelerada, principalmente pelo animal funcionar como um catalisador no sistema, com o consumo de forragem em adequado estado nutricional nitrogenado, reciclando o N por meio da deposição de fezes e urina (ASSMANN et al., 2018). Contudo, uma das principais características das adubações nitrogenadas quando aplicadas em sistemas ILP é o efeito residual do nitrogênio aplicado nas pastagens, podendo vir a reduzir ou mesmo eliminar a necessidade de aplicação deste elemento em cultivos posteriores de gramíneas, como por exemplo o milho.

Nesse contexto, podemos confirmar o efeito residual da adubação nitrogenada na pastagem sob o cultivo de grãos no verão pela dinâmica do

nitrogênio na forma de nitrato (N-NO³) e amônio (N-NH₄⁺) no solo. Entendendo que neste caso, a biota do solo passa a ser a interface entre as fases de cultivo.

2.2 Fósforo no solo e em sistema de ILP

O fósforo (P) nos sistemas de manejo do solo apresenta seu ciclo de forma mais complexa que o de nitrogênio, uma vez que, a disponibilidade do P no solo para absorção pelas plantas depende de processos mediados biologicamente entre o P orgânico e quimicamente de P inorgânico (DUBEUX et al., 2007).

Retratando o sistema solo-planta, o fósforo está presente na planta como constituinte dos ácidos nucleicos e fosfolípídios nas membranas celulares, além dos componentes metabólicos móveis armazenadores de energia, como a coenzima ATP, assim este é um dos elementos essenciais para o ciclo da planta. Do solo para a planta, o fósforo é absorvido na forma preferencial do ortofosfato H₂PO₄ que é disponibilizado na solução do solo via processos biológicos de mineralização do P orgânico e, químico do P inorgânico adsorvido aos coloides do solo, tendo alta estabilidade na fase sólida.

Os minerais fosfatados são a origem do fósforo nos sistemas naturais, predominando o fosfato de cálcio (TIESSEN et al., 1984). Para ser utilizado pelos organismos vivos, deve ocorrer a ação do intemperismo, onde o P é então liberado para a solução do solo e reabsorvido aos coloides, todavia parte dele é absorvido pelos organismos e pelas plantas. No estágio inicial de formação do solo, ocorre a maior biodisponibilidade de fósforo, devido ao solo ser pouco intemperizado e a quantidade de sítios adsorventes ser pequena; por isso, o P é adsorvido com baixa energia, facilitando seu retorno à solução do solo. Simultaneamente à utilização de fósforo pelos organismos vivos, seus resíduos são depositados no solo e uma nova forma de fósforo é acumulada, o fósforo orgânico (GATIBONI, 2003).

Portanto, os teores de P no solo dependerão do material de origem, bem como, dos processos geoquímicos que controlam o ciclo do fósforo no sistema, além disso, com o progresso do intemperismo, aumenta a importância das frações orgânicas como fonte desse nutriente às plantas (SOUZA, 2008). Desse modo, em

solos desenvolvidos, a mineralização do fósforo orgânico passa a ser a fonte principal de tamponamento do fósforo, uma vez que, os coloides inorgânicos atuam principalmente como dreno e competem com as plantas pelo fósforo (SMECK, 1985; SHARPLEY et al., 1987).

Todavia, o fósforo é dividido em dois grupos grandes grupos, P orgânico e P inorgânico, que são dependentes da natureza do composto a que estão ligados. Por sua vez, a adoção de um determinado sistema de manejo do solo irá contribuir para que uma sobressaia sobre o outro. Segundo, Gatiboni (2003), o fósforo inorgânico pode ser separado em duas partes: o fósforo dos minerais primários ou estrutural e o fósforo adsorvido, além do fósforo da solução do solo, que se encontra em pequenas quantidades. Porém, o fósforo dos minerais primários fosfatados representa uma pequena parte dos minerais do solo, entre 0,02 a 0,5% (LINDSAY et al., 1989), sendo difícil a identificação desses. Logo, com o avanço do intemperismo, o fósforo inorgânico pode formar complexos de alta energia de ligação com facilidade, encontrando-se mais adsorvido aos óxidos de ferro e alumínio, além da possível ligação com o cálcio e a matéria orgânica do solo por meio de pontes de cátions (compostos ternários). Por outro lado, em solos mais intemperizados o P orgânico aumenta a sua participação no P total presente no solo (CROSS; SCHLESINGER, 1995).

Desse modo, o teor de P total e suas frações dependem do grau de intemperização dos solos, de suas características químicas e físicas, bem como, da atividade biológica e vegetação predominante, entre outras (SOUZA, 2008). Confirmando a dependência das formas inorgânicas de P a mineralogia do solo, Machado et al. (1993), relataram percentual mais baixo de formas lábeis nos solos da região do Planalto do que região Sul do Rio Grande do Sul, atribuindo isto ao maior grau de intemperismo no Planalto, visto o maior teor de argila e óxidos de ferro.

A fração de fósforo orgânico pode constituir de 20 a 80% do fósforo total do solo na camada de 0-20 cm, atingindo mais de 90% em solos de altitude, o que torna-o umas das principais fontes as plantas devendo ser levado em consideração em estudo de sua dinâmica e biodisponibilidade (RHEINHEIMER, 2000; RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2003). Este P é provindo dos resíduos vegetais

depositados sobre o solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição (RHEINHEIMER et al., 2000a; CONTE et al., 2002 e 2003; MARTINAZZO et al., 2007). Existe uma grande variedade de compostos orgânicos no solo, as principais formas de P já identificadas são os fosfatos de inositol, que compõem de 10 a 80% do P orgânico total, os fosfolipídios de 0,5 a 7%, ácidos nucléicos com aproximadamente 3% e outros ésteres fosfato (> 5%) (DALAL, 1977). Contudo, a estabilidade destes compostos depende de sua natureza e da interação com a fração mineral, uma vez que, estes compostos são usados como fonte de carbono e elétrons pelos microrganismos, resultando em sua mineralização e disponibilização do fósforo no solo (SOUZA, 2008).

Ainda, uma das frações de maior importância do fósforo orgânico no solo está contida na biomassa microbiana, ou seja, com a absorção de P pelos microrganismos (imobilizando-o) cria-se o P microbiano, que pode representar de 2 a 24% do fósforo orgânico do solo (BROOKES et al., 1984). A biomassa microbiana do solo faz uso dos resíduos orgânicos para apanhar carbono, energia e nutrientes no solo (NEVES, 1992; TSAI et al., 1992), assim, influenciando a dinâmica dos nutrientes no solo, ocasionando a mineralização dos mesmos da forma orgânica presentes nos resíduos ou imobilização destes na forma mineral presentes no solo (DALAL, 1977; SMECK, 1985).

O P microbiano pode funcionar como um amortecedor dos fenômenos de adsorção, pois, imobilizando temporariamente na biomassa microbiana retarda o processo de adsorção de P aos argilominerais do solo, que, muitas vezes, pode atingir níveis de irreversibilidade (SOUZA et al., 2008). Contudo, Martinazzo et al. (2007), em estudo de P microbiano no cultivo de azevém relatam valores altos dessa fração imobilizados na biomassa microbiana, atribuindo importância ao conteúdo de carbono sobre o solo. Todavia, os mesmos autores ressaltam que a fração de P microbiano é aumentada pela adição de fertilizantes fosfatados, uma vez que, o armazenamento de P na biomassa microbiana atua como dreno de P do solo. Desse modo, é de grande relevância a permanência do fósforo em forma lábil no solo (presente na biomassa microbiana) no sistema ILP, podendo ser absorvido pelas plantas após a lise das células microbianas ou transferido para a geração seguinte de microrganismos (SOUZA et al., 2008).

No entanto, deve-se ter cuidado em utilizar as informações geradas em áreas genuinamente de lavouras nos sistemas de integração Lavoura-Pecuária, devido a maior complexidade dos processos que ocorrem no sistema solo-planta-animal. Uma vez que, o ato de pastejar as plantas promove aumento na exsudação de compostos orgânicos pelas raízes, além do aumento da massa de raízes, o que favorece a biomassa microbiana. Contudo, para Souza et al. (2008), em avaliação em sistema de ILP, o aumento da biomassa microbiana não aumentou o teor de P microbiano no solo, pelo fato de que o acúmulo do P microbiano irá ocorrer mediante a manutenção metabólica dos microrganismos, quais necessitam de manter uma relação $C_{micro}:P_{micro}$ entorno de 14 (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Desse modo, a adição de resíduos vegetais (fonte de C) sobre o solo torna-se importante para a realização da interface de ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta-animal. Ou seja, com redução da intensidade de pastejo pode haver aumento do P microbiano, enfatizando a necessidade de amostragens sazonais e avaliações mais detalhadas da distribuição das frações do P no solo (Souza et al., 2008), quais servirão de alicerce sobre as interações entre microrganismos, matéria orgânica e P no solo. Ou seja, as condições moderadas de pastejo podem melhorar o acúmulo de carbono no solo (C) devido à reciclagem de resíduos animais em pastagens (FRANZLUEBBERS; STUEDEMANN, 2010).

Ainda, o pastejo colabora para o crescimento radicular que pode promover a formação de macroporos e bioporosidade, favorecendo a migração da P para camadas mais profundas do solo (COSTA et al., 2014). Ao mesmo tempo, os mesmos autores relatam que a absorção de P inorgânico pelas raízes nas camadas mais profundas pode favorecer a mineralização de P orgânico, promovendo incremento na redistribuição da quantidade P inorgânico. Uma vez que, com o pastejo maior atividade de raiz e ciclagem de P podem ocorrer na superfície do solo, intensificando a ciclagem de fósforo e disponibilidade para ambos os cultivos, de grãos e pastagem.

Como visto no sistema de ILP a dinâmica de fósforo no solo tende a ser mais complexa, uma vez que, a influencia do pastejo na exploração de nutrientes, bem como, na distribuição de resíduos de plantas e animais (urina e esterco), tende a alterar a distribuição das formas de P no perfil do solo,

principalmente por 95% do P retornar ao solo via esterco (HAYNES; WILIAMS, 1993). Dessa forma, alguns autores consideram os resíduos (animal + planta) uma fonte de P (inorgânico + orgânico) e evidenciam que a liberação lenta de fósforo pode reduzir a probabilidade de reações de adsorção com hidróxidos de Fe e Al, permitindo maior uso eficiente de P pelas plantas quando comparadas a outras fontes inorgânicas de P, por exemplo, fertilizantes (ANGHINONI; ASSMANN, 2011).

Se tratando de ciclagem de nutrientes em pastagens, Haynes e Williams (1993), enfatizam que o mecanismo fundamental de controle do movimento de P do esterco para o solo é a decomposição física do estrume, em que o conteúdo de P inorgânico se torna uma fonte de fósforo efetiva quando comparado ao fertilizante fosfatado solúvel. Desse modo, a manutenção de resíduos de animais e vegetais com maior atividade de raiz pode ser a explicação para maior manutenção de P lábil ao longo do tempo na superfície do solo (COSTA et al., 2014).

Entretanto, para que a ciclagem de P se concretize entre os componentes do sistema solo-planta-animal se faz necessário que os resíduos vegetais ou animais tenham disponibilidade de carbono e nitrogênio em seus tecidos, bem como, maior quantidade de nutrientes no compartimento lábil. Uma vez que, as frações de C e N particulados são mais sensíveis ao manejo adotado, sendo uma das primeiras a indicar alterações no balanço desses nutrientes no solo, afetando a dinâmica dos demais nutrientes, demonstrando maior pronúncia em áreas de maior intensidade de pastejo, devido o menor aporte de resíduos vegetais (CONCEIÇÃO et al., 2005). Por vez, grande porção de P está associada a componentes estruturais de plantas (HAWKESFORD et al., 2012), com a sua liberação dos resíduos vegetais dependente da decomposição microbiana do solo.

Ao avaliar a ciclagem de fósforo em um sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto de longa duração, Assmann et al. (2017) concluíram que a cinética de liberação de P dos resíduos vegetais da pastagem e do esterco são influenciados pela intensidade de pastejo, em que as taxas de ciclagem foram maiores na fração lábil de ambas os resíduos quando o pastejo foi moderado, resultando em liberação mais rápida sob intensidade moderada com retorno de aproximadamente 60% do P via esterco, para o cultivo de soja após a pastagem. Estes resultados são confirmados pelos menores teores de lignina observados nos

resíduos da pastagem e de esterco em intensidades moderadas de pastejo em avaliação do mesmo experimento (ASSMANN et al., 2015). Semmartin et al. (2008), observaram maior liberação de P em resíduos de gramíneas nas mesmas condições de pastejo, atribuindo as diferenças a qualidade de estrutura, ao conteúdo de lignina e na relação lignina: N dos resíduos da pastagem causados por pastejo, bem como, alterações na microbiota do solo e mudanças no status de N do solo a partir da deposição de esterco.

Além disso, quando se emprega a adubação nitrogenada durante o cultivo da pastagem, ocorre alteração da atividade microbiana no solo, o que reflete no aumento da taxa de decomposição dos resíduos vegetais, devido o aumento da qualidade da estrutural dos mesmos. Isso será refletido na dinâmica de decomposição dos demais nutrientes presentes nesse resíduo, como apresentado por Deiss et al. (2016), em que o pastejo em área de sistemas integrados de produção aumenta a biodisponibilidade do P no solo e reduz a presença de formas orgânicas de P mais recalcitrantes, o que poderia resultar em um melhor aproveitamento do mesmo pela cultura subsequente.

Todavia, Whitehead (2010) enfatiza a importância do estudo das transformações de P no sistema solo-planta-animal, devido às reações que resultam da liberação de H_2PO_4^- de formas inorgânicas insolúveis e os processos microbianos de mineralização e imobilização. Assim, surge uma necessidade de melhor entendimento dos impactos do manejo de pastagem e da adubação nitrogenada sobre ciclagem de nutrientes no sistema de interação Lavoura-Pecuária, uma vez que, os animais participam diretamente da reciclagem de nutrientes.

2.3 Potássio no solo em sistema de ILP

O potássio (K) é um elemento que apresenta sua ciclagem quase que totalmente na forma mineral, grande parte do elemento potássio não faz parte da estrutura de compostos orgânicos de plantas, animais ou solos, contudo, é de grande importância tanto nos sistemas naturais como nos agrossistemas. Dos nutrientes minerais requeridos em maior quantidade pelas plantas, o potássio é o

segundo após o nitrogênio, e não tem função estrutural no metabolismo vegetal, permanecendo quase totalmente na forma iônica nos tecidos (MARSCHNER, 1995). Esse nutriente é essencial para a síntese de carboidratos, síntese e estabilização de proteínas e relações osmóticas, incluindo abertura e fechamento de estômatos. Sua demanda pelas plantas é alta, assemelhando-se à do N.

O ciclo do K é predominantemente geológico, porém rápido, sendo um dos nutrientes mais abundantes nos solos. Os processos pedogenéticos de formação do solo são os responsáveis pelas variações nos teores de K no solo, uma vez que, o material de origem é a principal fonte de K, apresentando teores mais elevados em solos menos intemperizados, como alguns localizados no Sul do Brasil (NACHTIGALL; RAIJ, 2005). As principais fontes de K encontram-se nos minerais primários e secundários do solo (K estrutural) conservando de 90 a 98% do K total, e o restante encontra-se na solução do solo (K solução) (0,1 a 0,2%) ou ligado às cargas elétricas negativas (K trocável na CTC) (2 a 8%), ou seja, em formas mais disponíveis às plantas (SPARKS, 2000).

O suprimento de K para as plantas se dá por meio da solução do solo e de sítios de troca dos coloides do solo com a solução, quais estão em equilíbrio com o K não trocável e com o estrutural dos minerais (SPARKS; HUANG, 1985). Conforme Raij et al. (1997), os coloides do solo são formados principalmente por matéria orgânica, caulinita e óxidos de ferro e alumínio, em solos da maior parte da região tropical do Brasil, consistindo no K trocável a fração disponível mais interessante às plantas, uma vez que, este restitui rapidamente o K retirado da solução do solo. Contudo, o K dos resíduos vegetais e o K não trocável também contribuem para a nutrição das plantas. Entretanto, em solos que apresentam baixo teores de potássio, o K trocável pode passar para formas não trocáveis, é o que verificou Rosolem et al. (2006), quando o K lixiviado da palhada de milho e o provindo da adubação aumentaram os teores de K não trocável no solo.

Como o K apresenta uma carga de valência (K^+) sua adsorção aos coloides do solo é fraca (ligação eletrostática), assim, o mesmo depende das cargas negativas do solo que determinam a relação de K trocável: K da solução do solo (ERNANI et al., 2007). A capacidade de troca de cátions (CTC) varia em função do teor de argila, da matéria orgânica e do pH do solo, ainda, o teor de argila está

relacionado com a retenção de água no solo que afeta diretamente a difusão de K até as raízes (RUIZ et al., 1999). Nesse contexto, quando um solo apresenta alta CTC tem-se uma menor possibilidade de perdas de potássio por lixiviação, uma vez que, haverá menos K na solução do solo para uma mesma quantidade de K total, além disso, terá uma maior capacidade de armazenamento de K neste solo (YAMADA; ROBERTS, 2005).

Após absorção pelas plantas, o K se encontra na forma livre nos tecidos vegetais, não fazendo parte de compostos estruturais das plantas, pode ser rapidamente liberado para a solução do solo após a senescência, removido pela água e sem depender da atividade microbiana (MIELNICZUK, 2005). Por sua vez, essa “lavagem” de nutriente do resíduo torna-se importante para a ciclagem rápida dos mesmos, fertilizando as camadas superficiais do solo, principalmente quando já estiverem plantas vegetando novamente. Uma vez que, Assmann et al. (2017) relatam que em menos de 30 dias aproximadamente 80% do K é liberado dos tecidos vegetais em decomposição, via processo de mineralização, num sistema de ILP, enfatizando a importância de não haver áreas em pousio, implantando o sistema colhe-planta. Lupwayi et al. (2005) observaram em um ambiente frio e seco no Canadá que um período de aproximadamente 52 dias é satisfatório para liberar aproximadamente 90% do K dos resíduos de plantas.

A ciclagem de nutrientes e a disponibilidade de K diferem substancialmente entre os solos, especialmente pelo teor de argila e matéria orgânica do solo. Por vez, a dinâmica deste nutriente nos solos dos subtropicais, bem como, sua disponibilidade para as plantas dependerá também da predominância de formas aplicadas (ASSMANN et al., 2017). Todavia, a biodisponibilidade de K nos solos é determinada pela capacidade de troca de cátions que, em tais solos, é altamente dependente do conteúdo de matéria orgânica (KAYSER; ISSELSTEIN, 2005).

No sistema solo-planta-animal os animais têm papel preponderante na ciclagem de K e outros nutrientes, devido o retorno simultâneo dos nutrientes via excretas, influenciando na fertilidade do solo e nutrição da pastagem (WHITEHEAD, 2010). Uma vez que, 95% do K ingerido pelos animais durante o pastejo é retornada ao solo (ciclagem de nutrientes e reciclagem) via esterco e principalmente via urina

(HAYNES; WILLIAMS, 1993). Assim, reforçando a resposta do solo para com a capacidade de armazenar nutrientes e troca-lo entre os coloides e a solução do solo, bem como, a capacidade de reabsorção da planta em rebrote.

Avaliando intensidades de pastejo e ausência de pastejo em sistema de ILP em plantio direto, Ferreira et al. (2009), constataram menores teores médios de K disponível no solo nos tratamentos com pastejo, sendo mais acentuada a redução quando houve maior intensidade de pastejo (altura de pasto de 10 cm). Os autores atribuíram esses resultados ao manejo mais agressivo da pastagem ter ocasionado possíveis perdas do elemento, uma vez que, manteve maior carga animal e maiores retornos da fração do K ingerido pelos animais via urina (95%) (HAYNES; WILLIAMS, 1993). Entretanto, esse experimento recebeu apenas 45 kg.ha⁻¹ de N em uma pastagem de aveia (FERREIRA et al., 2009), isso pode ter limitado o crescimento da pastagem, em consequência reduziu a ciclagem de K.

O efeito da pastagem também é ciclar os nutrientes do sistema, trazendo-os de camadas mais profundas para as mais superficiais do solo. Nesse contexto, após o período de pastejo em área de ILP, a distribuição de K no perfil do solo revela a formação de gradiente decrescente de concentração do mesmo a partir da superfície do solo (FERREIRA et al., 2009). Este é um comportamento comum para sistemas de plantio direto consolidado e acontecem em similaridade com o gradiente de C orgânico no solo (MIELNICZUK, 2005; ANGHINONI, 2007). Por sua vez, o incremento da matéria orgânica do solo se torna responsável por grande parte (até 70 %) da CTC dos solos tropicais (SILVA et al., 2004), o que resulta em aumento da retenção de cátions com possibilidade de lixiviação, disponibilizando-os para absorção das plantas e reciclagem no sistema.

Enfatizando a rápida ciclagem de K dos resíduos vegetais e a sua contribuição para os teores do mesmo no solo, Bortolli (2016) em avaliação da liberação de K dos resíduos de sorgo que foi pastejado em sistema ILP, constatou que mais de 97% do K está no compartimento lábil e apresentava uma meia vida de 56 dias. Em resíduos de aveia, também de pastejo, a liberação de K teve alta proporção na fração prontamente decomponível (lábil), em torno de 77% nos resíduos com aplicação de N. Já, os resíduos de milho, cultivado após a pastagem de aveia, apresentaram 80% do K no compartimento lábil, consistindo em tempo de

meia-vida do K neste compartimento de 46 dias.

Ainda, Assmann et al. (2017), em avaliação da ciclagem de K de esterco e resíduos vegetais em ILP (soja + gado de corte), constataram que o retorno de K durante a fase pastagem foi alto, principalmente na intensidade de pastejo moderado, excedendo a demanda ($80 \text{ kg de K ha}^{-1}$) pela safra subsequente de soja. Outros autores, como Ferreira et al. (2011), em avaliação da ciclagem e balanço de potássio no mesmo sistema de ILP também concluíram que a fase pecuária foi a principal fonte de K para a cultura da soja. Todavia, os sistemas que abordam “semeadura-colheita-semeadura”, permitem uma blindagem do K quanto a perdas no sistema, como a lixiviação (SCHOMBERG; STEINER 1999), além de permitir a redistribuição de K no perfil do solo por meio da reabsorção de K pela forragem das camadas mais profundas do solo, o que ainda irá reduzir a possibilidade de balanço negativo no solo (ANDRIST-RANGEL et al., 2007).

No solo os nutrientes K e N são passíveis de interação via a formação de par iônico entre o nitrato e o potássio, o que poderia potencializar os processos de perdas via lixiviação. Por outro lado, incrementos de adubação nitrogenada podem aumentar a absorção de potássio pelas plantas o que aumentaria a taxa de utilização deste nutriente evitando que o mesmo seja perdido para o ambiente. Todavia, a maneira como as culturas respondem à absorção de K e a quantidade necessária é dependente em grande parte do nível da nutrição de nitrogênio, bem como, a oferta crescente de N aumenta o crescimento das plantas e, conseqüentemente, aumenta a demanda por K e outros nutrientes (WILKINSON et al., 2000). Bar Tal (2011), observou que no longo prazo a fertilização com N implica com o esgotamento do K trocável no solo, além disso, a forma de N disponível afeta a absorção K nas superfícies das raízes e nas membranas das plantas.

Em avaliação de teores de K num experimento de integração feijão/milho-ovinos de corte, Sartor (2012), constataram em um ano de avaliação a interação entre doses de N aplicadas em cobertura na pastagem e os teores de K no solo, na camada de 0-10 cm, com decréscimo dos teores de K no solo com o as crescentes doses de N. E nos demais anos ressalta a migração de K das camadas superficiais (0-5 cm) para camadas mais profundas no solo (10-15 cm), principalmente nas áreas de pastejo no inverno. Ainda, o menor acúmulo de K no

solo ocasionado pelas maiores doses de N se deve provavelmente à maior carga animal na condição de maior fertilização da pastagem, atrelada ao maior rendimento de grãos no verão (SARTOR, 2012). O que pode ser considerando em conjunto com o efeito residual do N aplicado no inverno para a cultura de verão (ASSMANN et al., 2003).

Alguns autores como Ferreira et al. (2009), observaram menores teores de K na altura de manejo da pastagem de 10 cm, ou seja, com maior carga animal, atribuindo os resultados a possíveis perdas. No entanto, para Sartor (2012), as reduções dos teores de K na camada de 10-15 cm não são consideradas drásticas a ponto de serem prejudiciais ao sistema solo-planta-animal. Uma vez que, Kayser e Isselstein (2005), salientam que a lixiviação de potássio em pastagem é normalmente baixa, contudo, os teores altos de K disponíveis no solo e a alta entrada de K via fertilizante ou urina possibilitam incrementos de possíveis perdas.

Portanto, em sistemas de produção que não existe pousio entre uma cultura e outra, ou seja, sistema planta-colhe-planta, o K absorvido permanece a maior parte do tempo no tecido vegetal, protegido de perdas por lixiviação e/ou erosão do solo (FERREIRA et al., 2011). Assim, é preciso entender os efeitos do manejo pastagem, dos animais e da adubação nitrogenada sobre a ciclagem de potássio, bem como, a manutenção dos seus teores no solo sem que haja perdas.

2.4 Estado nutricional de plantas

O estado de nutrição de plantas é fundamental para o manejo da adubação, principalmente o nitrogênio, nutriente dinâmico que depende das condições ambientais e da atividade biológica. Para a adubação nitrogenada, existem alguns parâmetros utilizados no Brasil para inferir de modo indireto a condição de nutrição nitrogenada, como o teor de matéria orgânica do solo, a clorofila e o nitrato do suco celular (MACCARI, 2016).

Contudo, Rambo et al. (2011), afirmam que o uso de índices de estado nutricional com base na clorofila apresenta correlações muito baixas ou não significativas com a produtividade de grãos, principalmente quando realizadas

leituras nos estádios iniciais de crescimento, ou seja, quando a cultura define seu potencial produtivo. Dessa forma, o desenvolvimento de técnicas que auxiliem o produtor no uso eficiente de adubos, especialmente nitrogenados, pode refletir em melhores produções e menores riscos de contaminação ao ambiente (LUSTOSA et al., 2011).

Gastal e Lemaire (2002), sugerem uma nutrição nitrogenada para as plantas por meio de uma abordagem dinâmica, avaliando o estado nitrogenado ao longo do desenvolvimento vegetativo da cultura, criando-se para isso uma concentração crítica de nitrogênio no tecido das plantas.

Com base no diagnóstico do estado nutricional nitrogenado de plantas, Lemaire e Salette (1984), desenvolveram uma curva de diluição crítica de nitrogênio. Conforme os autores, esta metodologia possibilita avaliar o estado nutricional nitrogenado das plantas em vários momentos do ciclo de desenvolvimento, entre eles, é possível avaliar o estado nutricional nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta, podendo-se, averiguar a concentração mínima de N que proporciona a máxima produção de matéria seca da parte aérea da planta e auxiliar o produtor na decisão da adubação nitrogenada em cobertura. Para tal, sugeriram três situações nutricionais: a) deficiência de nitrogênio; b) excesso de nitrogênio, que equivale a consumo de luxo; c) nutrição nitrogenada ótima.

Em condições de clima e solo adequadas ao cultivo, o diagnóstico nutricional nitrogenado pode ser feito através do modelo e assim verificar se o teor de N é restritivo à produção de matéria seca pela cultura (SARTOR et al., 2014). Uma vez que, quando o teor de nitrogênio estiver abaixo do calculado, conforme o acúmulo de biomassa haverá limitação à produção.

Segundo Lemaire e Gastal (1997), a concentração de N na parte aérea das plantas diminui à medida que a planta acumula biomassa. Nesse contexto, Lemaire e Salette (1984), observaram diferenças na absorção de nitrogênio por plantas de festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.) em diferentes épocas do ano, e em diferentes anos. Essa diferença foi atribuída às diferenças nas condições climáticas, as quais induziram a diferentes respostas de crescimento entre as épocas e anos. Embora as diferenças na absorção, a porcentagem de N diminuía com o aumento da biomassa aérea, independente do ano ou época. Dessa forma,

os autores desenvolveram um modelo de suprimento adequado de N para gramíneas, onde a concentração de N na planta pode ser relacionada ao acúmulo de massa seca, de acordo com a equação:

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

Sendo:

N % = concentração de N na planta expressa em percentual de matéria seca.

MS = quantidade de matéria seca acumulada em kg ha⁻¹ na parte aérea das plantas.

a = coeficiente que representa o teor de N na planta para cada 1.000 kg ha⁻¹ de matéria seca acumulada na parte aérea das plantas.

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

Este fenômeno é conhecido como efeito de diluição do teor de N na planta durante o crescimento ou rebrote e, segundo Nabinger (2002), este efeito pode ser explicado por dois fatores. Ao nível da planta individual, pode ser devido à medida que a planta cresce, ela contém uma maior proporção de material estrutural e de reservas que contém pouco nitrogênio, comparado ao compartimento metabólico da planta. Ao nível de população, é o resultado da não uniformidade da distribuição de N entre folhas, em função do nível de irradiação recebida no interior do dossel. Ou seja, o decréscimo no conteúdo de N na planta com o crescimento é o resultado, principalmente, da competição por luz dentro do dossel, pois ocorre a translocação do N das folhas sombreadas para as folhas melhor iluminadas, o que permite aperfeiçoar a fotossíntese do dossel (BALDISSERA, 2010).

Esta metodologia sugerida pode ser uma das poucas disponíveis para um diagnóstico precoce da condição de nutrição nitrogenada da cultura (MACCARI, 2016). Uma vez que, durante a fase de pastejo, a cada ciclo de brotação de uma pastagem, o teor de N da parte aérea das plantas reduz na medida em que aumenta a quantidade de biomassa produzida (LANG, 2004). Gastal e Lemaire (2002),

sugerem que a taxa de absorção das culturas cultivadas no campo, é regulada pela disponibilidade do nutriente no solo, mas também pela taxa de crescimento da cultura. Ou seja, com uma oferta adequada de N no solo, a absorção de N pela cultura é, em grande medida, determinada pela taxa de crescimento da cultura (GASTAL; LEMAIRE, 2002). Contudo, mesmo com a existência de um amplo fornecimento de N, a concentração de N nas plantas reduz com o seu crescimento.

Bernardon (2016), constatou que o acúmulo de biomassa aérea ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura gerou diluição no teor de nitrogênio em pastagem consorciada de aveia e azevém. A autora justifica a redução devido à presença de materiais estruturais e diminuição da relação folha/colmo. Estes resultados confirmam ao que foi constatado por Lemaire e Salette (1984).

Trabalhando em sistema de ILP com azevém consorciado a aveia preta, sob diferentes manejos de alturas de pasto (baixa altura e alta altura) e tempo de adubação de nitrogênio (N aplicado na pastagem e N aplicado na cultura de grãos), Bernardon (2016) relatou que o teor de N na pastagem acumulada aumentou significativamente com a adubação nitrogenada realizada no perfilhamento da pastagem. Uma vez que, na média as parcelas que receberam adubação nitrogenada na pastagem apresentaram de concentração de N na MS 28,6% superior à constatada no tratamento em que o N foi aplicado apenas na cultura de grãos (milho), confirmando que a adubação da cultura de grãos não foi eficiente em nutrir a pastagem. A mesma autora concluiu que a adubação nitrogenada efetuada na pastagem possibilitou aumento significativo na produtividade, aliada a um acréscimo no valor nutritivo, refletindo em qualidade da forragem.

Lang (2004), evidenciou no início do desenvolvimento da cultura do milho 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. A autora concluiu que passada a fase inicial da cultura que à exceção dos tratamentos sem aplicação de N, todos os demais que receberam N, sejam na pastagem de inverno como na cultura do milho, permitiram às plantas manter um teor de N acima do ponto crítico.

Lemaire e Salette (1984), propuseram valores estáveis dos coeficientes

“a” e “b”, em condições de nitrogênio adequadas ao desenvolvimento da planta. São modelos matemáticos que correlacionam à produção de matéria seca ao teor de nitrogênio na planta de acordo com a espécie vegetal (SKONIESKI, 2009; LEMAIRE; SALLETE, 1984). Os coeficientes diferem entre plantas de metabolismo C3 e C4, devido a diferenças na assimilação de gás carbônico, no conteúdo de proteínas fotossintéticas e anatomia das folhas (GREENWOOD et al., 1990), conforme equações a seguir para plantas C3 e plantas C4:

$$\text{C3: } N\% = 4,8 (\text{MS}) - 0,32$$

$$\text{C4: } N\% = 3,4 (\text{MS}) - 0,37$$

Essas equações podem ser empregadas para estimar a quantidade de N extraído pela cultura quando a matéria seca da parte aérea acumulada for superior a 1 t ha^{-1} (SKONIESKI, 2009). Isto 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. Assim, o diagnóstico do estado nutricional nitrogenado de plantas cultivadas é abordado de uma forma mais dinâmica do processo de disponibilidade de N no solo, a absorção e distribuição na planta (GASTAL; LEMAIRE, 2002).

Tal abordagem foi desenvolvida para várias espécies de culturas: gramíneas de clima temperado e alfafa (LEMAIRE; GASTAL, 1997), feijão francês (GREENWOOD et al., 1990), gramíneas tropicais (DURU et al., 1997), milho (PLENET; LEMAIRE, 2000), sorgo (PLENET; CRUZ, 1997), arroz (SHEEHY et al., 1998), trigo (ZIADI et al., 2010), ervilha (NEY et al., 1997), batata (COELHO et al., 2013).

Em estudos recentes, com adubação nitrogenada efetuada em pastagem hibernal, manejado em diferentes alturas de pasto, Bernardon (2016) evidenciou um consumo de “luxo” pela pastagem permitindo afirmar que a planta absorveu N do solo acima do necessário para seu crescimento e produção. Uma vez que, quando são observados valores de N acima da curva de diluição crítica, há indícios de aumento de produção. Contudo, cabe salientar que a produção também é limitada por condições climáticas, nutricionais e genéticas, bem como, o consumo

de luxo pelas plantas confere a qualidade à forragem produzida pelo acúmulo de nitrogênio nos tecidos, o que favorece o ganho de peso dos animais (BERNARDON, 2016).

Uma vez que, a planta por si só é o melhor indicador para o fornecimento de N a partir do resultado de taxas de acúmulo de massa seca no período de crescimento (LI et al., 2012). Assim, a proposta da curva de diluição crítica de N com a visão de diagnosticar o status de nutrição nitrogenada das culturas é uma das poucas ferramentas disponíveis para possível uso precoce a nutrição de plantas. Ressaltando que, a geração da curva de diluição em culturas sob a interação entre manejo pastagem e adubação nitrogenada em sistemas de integração Lavoura-Pecuária são importantes para enfatizar o uso adequado do sistema, da ciclagem de nutrientes, bem como, da eficiência no uso de fertilizações.

2.5 Adubação nitrogenada em pastagens anuais de inverno

A adubação nitrogenada para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina é recomendada pelo Comissão de Química e Fertilidade do solo (CQFS, 2016) com base no teor de matéria orgânica no solo. Para gramíneas anuais de inverno cultivadas em sistema ILP, recomenda-se a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de N parcelados em duas ou três vezes. No entanto, acúmulo de matéria seca de uma pastagem de aveia branca e azevém pode aumentar linearmente com doses crescentes de N utilizadas (0,100, 200 e 300 kg ha⁻¹), em duas aplicações, o que demonstra o elevado potencial de resposta ao elemento pelas espécies utilizadas (ASSMANN et al., 2004; BONA FILHO, 2002). A explicação é que com o aumento das doses de N aplicado na pastagem, foi permitido o estabelecimento de maior índice de área foliar (IAF), o que proporcionou maior taxa fotossintética, traduzindo-se em maior acúmulo de MS e maior produção de biomassa.

Além disso, em pastejos sucessivos as folhas novas localizadas na camada superior da pastagem têm maior probabilidade de serem consumidas, e logo, uma maior proporção do N requerido para a produção de uma nova folha deve ser provida pela sua absorção do solo pelas raízes (BONA FILHO, 2002). Dessa

forma, a pastagem depende muito mais da disponibilidade de N no solo quando pastejada mais severamente. Assim, para maximizar o consumo animal pelo aumento de utilização da forragem produzida, deve-se considerar o adequado manejo de N, a fim de garantir o aporte necessário para um máximo crescimento da pastagem (BONA FILHO, 2002).

Considerando a máxima eficiência técnica de N, foi encontrado resíduo médio de 1.328 kg ha⁻¹ de MS com 215 kg ha⁻¹ de N (ASSMANN et al., 2004). Entretanto, a máxima eficiência de recuperação da pastagem correspondeu à dose de 231 kg ha⁻¹ de N, produzindo 2.365 kg ha⁻¹ de MS (ASSMANN et al., 2003). Ainda, se for considerada a eficiência da aplicação do N apenas no resultado da produção da pastagem e animal, certamente haverá um limite máximo econômico de aplicação, em função da gradativa redução desta eficiência. Por outro lado, na visualização do sistema ILP como um todo, deve-se considerar que, pelo processo de reciclagem grande parte do N aplicado na pastagem pode permanecer no sistema, disponível para a cultura subsequente. Desse modo, o limite máximo econômico de aplicação para a pastagem pode não resultar em maior rentabilidade para o sistema, dada a necessidade de sua aplicação para a cultura sucessora, com seus consequentes custos.

Em outro trabalho com adubação nitrogenada em pastagem de aveia branca e azevém, verificaram elevado acúmulo de MS até início de novembro (início estágio reprodutivo), como última e segunda aplicação de N em agosto (doses 0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹) (BONA FILHO, 2002). Estes resultados demonstram existir uma elevada manutenção do N aplicado dentro do sistema, dada pelo processo de reciclagem produzido pelo pastejo, principalmente na maior dose, de 300 kg ha⁻¹. Ainda que, o pastejo possa aumentar os riscos de perda de N por lixiviação e volatilização, o potencial de rebrote e de crescimento das espécies utilizadas, principalmente o azevém, permite um rápido aproveitamento do N disponível no solo, o mantendo imobilizado na parte aérea das plantas até a ocorrência de uma nova desfolha, permitindo assim uma adequada reciclagem deste nutriente.

A adubação nitrogenada além de potencializar a produção de MS, também possibilita antecipar a entrada dos animais em áreas de pastejo. Na avaliação do efeito de épocas de corte de pastagem de aveia e azevém com 100 kg

ha⁻¹ de N parcelado em 3 vezes e sem adubação nitrogenada, sobre a produção de matéria seca e qualidade da pastagem, observaram que sem adubação foram necessários mais 15 dias para acumular MS semelhante a quantidade obtida com o uso de N (CASSOL et al., 2011). Além disso, o primeiro corte nessa época, combinado com o uso de nitrogênio, também favoreceu a capacidade de rebrota da pastagem, pois 30 dias após esse corte o acúmulo de massa alcançou 2398 kg de MS ha⁻¹. Ainda, o nitrogênio proporciona à planta maior produção de biomassa, maior produção de perfilhos por planta e melhora a qualidade da pastagem por proporcionar um aumento na percentagem de folhas, material de melhor digestibilidade, menos fibroso e mais palatável para os animais em relação ao colmo (CASSOL et al., 2011).

Neste contexto, percebe-se que a utilização de N em pastagens de inverno contribui para aumentar a produção forrageira, a produção dos animais em pastejo, e a produção de grãos das culturas em sucessão (SANDINI et al., 2011). Entretanto é necessário o correto manejo da pastagem para uma maior eficiência no uso deste nutriente.

2.6 Manejo da altura de pasto e adubação nitrogenada

O manejo da lotação de acordo com a altura do pasto pode ser a ferramenta mais adequada para manutenção de um IAF médio próximo ao ótimo (AGUINAGA et al., 2008). Uma vez que, valores semelhantes de massa de forragem podem representar pastagens completamente diferentes em estrutura, pois ocorre variação de densidade, altura e composição para mesma massa de forragem, o que resulta em diversos índices de área foliar (CARVALHO et al., 2001).

O manejo da pastagem pode criar diferenças no fluxo de N no ecossistema da pastagem, uma vez que, esse determina a importância relativa das duas vias de recuperação de N, pela recuperação interna via senescência foliar, e externa, via decomposição de fezes e urina ou aplicação de fertilizantes (SILVA et al., 2008). Numa pastagem em condição de desfolhações pouco severas e menos frequentes, a senescência das folhas aumenta e uma maior proporção do N contido

nas folhas senescentes é remobilizada para as folhas novas, no crescimento. Nessa condição, o nitrogênio interno da planta representa uma importante fonte de N, caracterizando uma menor dependência de fontes externas desse nutriente (SILVA et al., 2008). Por outro lado, sob condições de desfolhações mais severas e frequentes, o processo de senescência é reduzido, aumentando a dependência de fontes de N externas à planta. Dessa forma, em um manejo com baixa altura do pasto e alta intensidade de pastejo, há maior dependência e resposta à adubação nitrogenada.

O resíduo após pastejo condiciona o IAF da pastagem, pelo qual o N estimula a taxa de expansão das folhas, aumentando o tamanho destas e o IAF, promovendo maior interceptação de radiação solar, rebrote mais rápido e maior produção de forragem (ASSMANN, 2002). Desse modo, a adubação nitrogenada em gramíneas normalmente aumenta a carga animal suportada pela pastagem (AGUINAGA et al., 2006). No entanto, altas cargas de animais por área podem estar associadas à degradação da pastagem e conseqüentemente à imagem de sustentabilidade duvidosa. Uma vez que, pela limitação na área foliar por uma intensidade de pastejo muito alta ocorre diminuição da taxa de perfilhamento e redução do tamanho da folha, diminuindo a evapotranspiração, assim, comprometendo a capacidade de assimilação de N que é absorvido pela planta por fluxo de massa via solução do solo (SANDINI, 2009). Logo, uma pressão de pastejo ótima, deve ser considerada como a faixa na qual haja conciliação entre o ganho por animal e o ganho por área (MOTT, 1960).

Em estudo de áreas sob pastejo de inverno adubadas com N foi determinado maior potencial de produtividade do milho subsequente, e na ausência de adubação nitrogenada na pastagem de inverno, a intensidade de pastejo deve ser reduzida, para não afetar a produtividade do milho (SILVEIRA et al., 2012). Isso se deve, ao pastejo favorecer a reciclagem mais rápida do N aplicado, atuando como bombeador do N no solo e possibilitando, maior aproveitamento do nutriente aplicado quando comparado às áreas que não receberam pastejo (ASSMANN, 2001). Desse modo, diferentes manejos da estrutura de uma pastagem (alta e baixa altura) também podem influenciar a ciclagem de nutrientes, a eficiência de uso e recuperação de N e a produtividade do sistema ILP.

2.7 Adubação nitrogenada em culturas de grãos

O sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) desenvolveu-se como uma opção de diversificação em regiões tipicamente agrícolas e/ou pecuária, para produção de carnes e/ou estabelecimento ou reforma de pastagem, respectivamente (MORAES et al., 2011). Essa associação permite maiores retornos econômicos pela otimização de recursos naturais gerados passíveis de uso na produção animal e vegetal (ALONSO et al., 2013).

A busca pela conciliação de maior rendimento de grãos e da maior produtividade animal num mesmo ano é um dos grandes objetivos do sistema ILP. No entanto, na rotação entre plantas e pastejo, nem sempre se consegue explorar o maior potencial produtivo de transformação da forragem em carne, e ou, da cultura de grãos a ser implantada durante o verão. Uma vez que, a escolha da cultura a ser implantada na fase de pastejo, bem como, a da fase de grãos, influencia na saída dos animais e na rotação de culturas aplicada no sistema, além de refletir na produção animal (BONA FILHO, 2002).

Para conciliar com períodos maiores de pastejo a cultura de grão a ser cultivada no verão precisa ter uma janela de plantio estendida para final de novembro, quando utilizarmos uma espécie de forrageira que proporcione pastejo até esse mês (SANDINI, 2009). Além disso, a cultura de grão no verão precisa ter aptidão ao agricultor e as oportunidades de mercado. Desse modo, quando ocorre a implantação de uma espécie de gramínea forrageira crioula no inverno, podemos antecipar a saída dos animais devido a possibilidade de menor ciclo da cultura. Ora, as culturas de grãos com maior plantio no Oeste de Santa Catarina são a soja, o milho e o feijoeiro, dentre essas, o milho é a cultura semeada primeiro, após dele veem a soja e por fim, o feijoeiro pode ser cultivado em primeira e segunda safra.

Por sua vez, o cultivo do milho se sobressai no contexto do sistema de integração Lavoura-Pecuária devido as várias aplicações que o cereal pode ter na propriedade agrícola, o milho pode ser utilizado na alimentação animal na forma de forragem verde ou conservada ou na forma de grãos, além disso, é utilizado na alimentação humana (ALVARENGA et al., 2007). Com uma alta eficiência em transformar energia provinda da radiação em biomassa, o milho possui no nitrogênio

como o nutriente de maior demanda, assim sendo o manejo da adubação nitrogenada um dos principais fatores de produção na busca de maiores rendimentos, embora, seja o fator que mais onera o custo de produção (AMADO et al., 2002).

De acordo com Caires e Milla (2016), estima-se que a cultura do milho requer entorno de 14 kg de N para produzir 1000 kg ha⁻¹ de grãos, em estudo realizado com aplicação de doses crescentes de N em sistema de plantio direto de longa duração (30 anos). Uma vez que, o nitrogênio no sistema de integração Lavoura-Pecuária pode ser proveniente dos restos vegetais dos cultivos antecessores, das fezes e urina dos animais e da adubação mineral.

Todavia, em sistemas convencionais de recomendação de adubação nitrogenada para cultivo do milho, as recomendações são baseadas no teor de matéria orgânica do solo e na espécie da cultura antecessora (gramínea e leguminosa), e considerando determinados níveis de rendimento de grãos. No entanto, as recomendações de adubação apenas com base nesses parâmetros supracitados, principalmente o teor de matéria orgânica, não apresentam confiabilidade, devido a base da recomendação serem as taxas constantes de mineralização e liberação de N, o que não é realmente mensurado, uma vez que, os fatores climáticos e de manejo interferem nos valores de N no solo (RAIJ, 2011).

Nesse contexto, no sistema de ILP toma-se como importante a avaliação da disponibilidade de nutrientes contidos nos resíduos vegetais que irão decompor junto ao solo, bem como, a adubação nitrogenada na pastagem é considerada para avaliar a adubação da cultura sucessora no sistema. Assim, busca-se nutrir a planta de milho em seus estádios de maior necessidade de fornecimento de N, entre V6 e V8. Visto que, esse período é caracterizado por intenso crescimento das raízes e alongamento dos entrenós (WEISMANN, 2008).

Todavia, o nitrogênio também é um dos nutrientes mais requeridos para espécies leguminosas produtoras de grãos, principalmente, em função de um ciclo curto de desenvolvimento e dos altos teores de N presentes nos grãos (SANDINI, 2009). Nesse caso, o feijoeiro é uma das culturas que demanda adubação nitrogenada em cobertura, já que, normalmente seu ciclo produtivo varia entre 84 e 100 dias (FONSECA JUNIOR et al., 1998). A absorção de nitrogênio pelo feijoeiro

ocorre durante todo o ciclo da cultura, porém o período de maior exigência está entre 35 e 50 dias da emergência, pelo fato de coincidir com o florescimento, por sua vez, nesse período, a planta chega a absorver de 2,0 kg ha⁻¹ a 2,5 kg ha⁻¹ de N dia⁻¹ (VALDERRAMA et al., 2009).

Diferente do milho, o feijoeiro conta com uma fonte de N à mais, ou seja, o N proveniente da fixação biológica de N atmosférico (FBN) efetuada pela simbiose da planta com o grupo de bactérias rizóbios, presentes no solo. Sabe-se que a contribuição da fixação biológica de N₂ não traz resultados significativos, não atendendo as necessidades da cultura, porém, o acréscimo de N no solo na semeadura reduz a simbiose, além de outros fatores de gêneros ambientais que podem afetar a eficiência da nodulação do feijoeiro (ALVES-PEREIRA et al., 2007; RUFINI et al., 2011; SOUZA et al., 2011)

Contudo, uma das características de grande importância do feijoeiro é seu ciclo de crescimento e desenvolvimento. Uma vez que, a maioria das cultivares comerciais apresenta um ciclo curto e, desse modo, o período destinado para a fixação biológica de N₂ é mais curto em relação ao cultivo da soja, já que após o período da floração há uma queda da FBN, intensificando a redução após o início da formação de vagens (ANDREOLA, 1992). Logo, a cultura do feijoeiro ainda dependerá da utilização de N mineral para a obtenção de altos rendimentos.

Concomitantemente, para que o sistema de produção tenha sustentabilidade, torna-se essencial a associação de um sistema sucessão e rotação de culturas diversificado, que produz uma adequada quantidade de resíduos sobre o solo (SILVA et al., 2007), já que, o uso intensivo do solo promove alta retirada de nutrientes e, ou, decomposição da palhada (SPERA et al., 2009).

Desse modo, é importante relacionar e entender sobre a relação C:N das culturas que farão parte do sistema de rotação e sucessão do sistema de ILP, além de obter a informação da quantidade de nutrientes presente nas excretas dos animais. Uma vez que, o feijoeiro e a soja são leguminosas, têm relação C/N baixa, o que permite uma decomposição mais rápida dos resíduos vegetais. Esta rápida decomposição poderia comprometer o sistema de produção integrado a médio e longo prazo, por expor facilmente o solo as condições ambientais (SANDINI, 2009).

Já, o milho é uma gramínea, com relação C/N superior às leguminosas,

apresentando lenta velocidade de decomposição de seus resíduos, permanecendo sobre a superfície do solo por um período mais longo, protegendo este das condições ambientais. Além disso, o uso de uma gramínea no verão é essencial para manter a rotação de culturas, que é uma prática imprescindível para a sustentabilidade do sistema integração lavoura-pecuária (BALBINOT JUNIOR et al., 2009).

Portanto, a disponibilidade de N para suprir as necessidades das plantas é dependente dos processos de mineralização, imobilização, lixiviação, nitrificação, volatilização e desnitrificação. Uma vez que, o processo de decomposição dos resíduos vegetais sobre o solo e a adubação mineral são dois importantes fornecedores de N ao solo, para suprir a necessidade nutricional das mesmas conforme a taxa de crescimento da planta.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no período de abril de 2015 a maio de 2016 na Agropecuária C.M. Pacheco, localizada no município de Abelardo Luz, SC. A região compreende a área do planalto catarinense, na microbacia hidrográfica meio oeste catarinense, com altitude de 850 m, latitude de 26° 31' 29,67" Sul e longitude de 53° 04' Oeste.

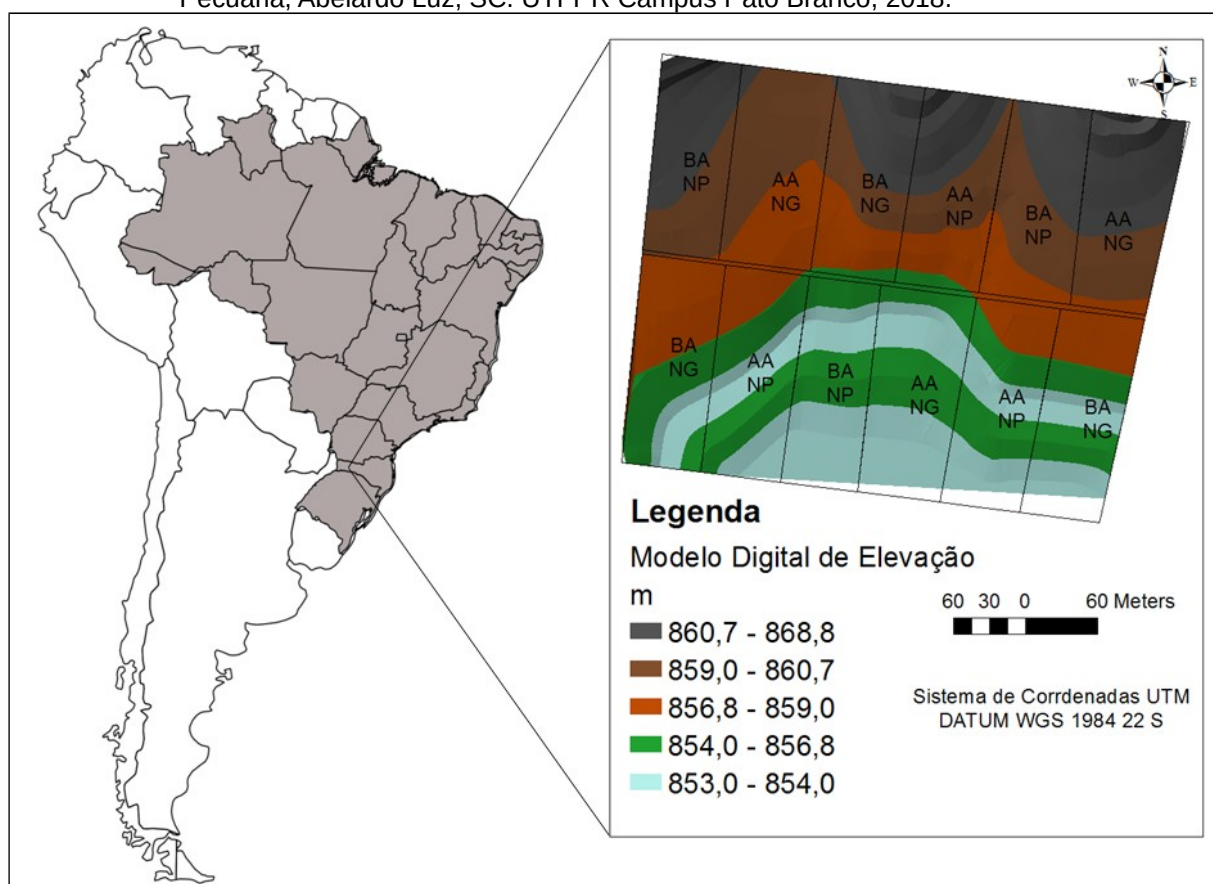
O clima predominante na região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfb), segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2014). Os dados meteorológicos registrados no município de Abelardo Luz/SC durante o período experimental foram utilizados para gerar gráficos do balanço hídrico sequencial por Thornthwaite e Mather (1955).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Bruno distrófico típico, textura muito argilosa com horizonte A proeminente, relevo suave ondulado (7% de declividade) (EMBRAPA, 2013). A análise de granulométrica do perfil do solo apresenta teores de argila > 69% de 0 - 40 cm de profundidade, assim,

caracterizando a textura muito argilosa do solo. O levantamento planialtimétrico da área onde foi implantado o experimento é apresentado na Figura 1.

A área experimental a ser utilizada era manejada previamente com sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) em sistema de cultivo mínimo (gradagem para plantio de cereais de inverno), e desde meados de 2012 passou a ser utilizada para fins de experimentação com ILP sob sistema de plantio direto. Os ciclos de cultivo durante os anos anteriores ao presente estudo foram sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*), aveia preta (*Avena strigosa*) e milho (*Zea mays*), aveia preta + azevém (*Lolium multiflorum* L.) e soja (*Glycine max*). O presente trabalho compôs os cultivos em 2015 e 2016, denominados de fase I: pastagem de azevém, fase II: milho e fase III: feijão 2ª safra (*Phaseolus vulgaris*) (Figura 2).

Figura 1 – Localização e levantamento planialtimétrico do experimento de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC. UTFPR Campus Pato Branco, 2018.






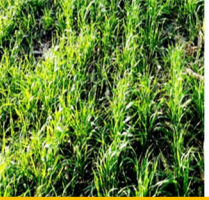




Fonte: Tatto (2018).

As unidades experimentais foram 12 parcelas, já alocadas desde o

início do experimento com ILP em 2012. A área total do experimento é de 14,21 ha, divididos em 12 parcelas de área semelhantes, mais uma área de 10 ha, adjacente ao experimento, para manutenção dos animais reguladores utilizados na fase I do experimento (Pastagem de Azevém). O dimensionamento do tamanho dos piquetes foi realizado de modo a permitir a manutenção de no mínimo três animais testers na pastagem.

Figura 2 – Histórico experimental ilustrando os cultivos, épocas de implantação e tratamentos em cada fase de experimento. Ênfase os cultivos deste experimento (quadro amarelo). UTFPR Campus Pato Branco, 2018.

			
2012/2013 – Verão	2013 - Inverno	2013/2014 - Milho	2014 - Inverno
Sorgo Forrageiro Produção animal em pastejo Tratamentos: AA: 60 cm BA: 30 cm NG: 0 NP: 200 kg/ha	Aveia - preta Produção animal em pastejo Tratamentos: AA: 30 cm BA: 15 cm NG: 0 NP: 200 kg/ha	Milho Produção de grãos Tratamentos: NG: 200 kg/ha NP: 0	Aveia + Azevém Produção animal em pastejo Tratamentos: AA: 30 cm BA: 15 cm NG: 0 NP: 200 kg/ha
			
2014/2015 verão	2015 – inverno	2015/2016 - Verão	2016 - Verão
Soja Produção de grãos Tratamentos: NG: 0 NP: 0	Azevém Produção animal em pastejo Tratamentos: AA: 30 cm BA: 10 cm NG: 0 NP: 200 kg/ha	Milho Produção de silagem Tratamentos: NG: 200 kg N/ha NP: 0	Feijão carioca Produção de grãos Tratamentos: NG: 100 kg N/ha NP: 0

Legenda: NP= N-Adubação pastagem; NG= N-Adubação grãos; AA= Alta altura de pasto; BA= Baixa altura de pasto. Fonte: Do autor, 2018.

O delineamento da área experimental foi fatorial em blocos completos ao acaso com três repetições. Os fatores experimentais da área como um todo consistiram da combinação entre dois níveis de Tempos de Adubação de Nitrogênio (N) no sistema: N aplicado na pastagem (N-Adubação Pastagem) e N aplicado na cultura de grãos sucessora à pastagem (N-Adubação Grãos). Duas alturas de pasto pretendidas: Alta Altura (25 cm) e Baixa Altura (10 cm).

Em toda a área experimental foi efetuada amostragem de solo de 0 a 20 cm em agosto/2015 para recomendação de adubação de base com fósforo e potássio (P e K), e se necessário calagem, igualmente nas parcelas experimentais, conforme recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2004). Na tabela 1 são apresentados os valores da análise química de rotina efetuada em agosto de 2015, para identificar a fertilidade do solo. Além disso, na Tabela 2 estão dispostos os valores do histórico de nitrato e amônio no solo dos anos de 2012 e 2014 de condução do experimento.

Tabela 1 – Análise de solo com valores de matéria orgânica (MO), macronutrientes, alumínio (Al³⁺), acidez potencial (H+Al), saturação de bases (V%) e saturação por alumínio (m%), na profundidade de 0-20 cm anterior a implantação da cultura do milho em 2015, UTFPR, Pato Branco, PR, 2018.

pH (CaCl ₂)	Índ. SMP	MO (g dm ⁻³)	P (mg dm ⁻³)	K	Ca (cmol _c dm ⁻³)	Mg
4,89	5,95	39,84	4,95	0,23	4,42	2,75
Al ³⁺	H+Al	CTC _{efetiva} (cmol _c dm ⁻³)	CTC _{pH 7,0}	V (%)	m	
0,04	5,21	7,45	12,62	58,56	0,60	

Fonte: Do autor, 2018.

Tabela 2 – Teores médios de nitrato (N na forma de NO₃⁻) e amônio (N na forma de NH₄⁺) no solo antes da implantação do experimento em 2012 com cultivo e sorgo forrageiro e média ao final da fase pastagem (aveia preta + azevém) no ano de 2014. UTFPR, Pato Branco, PR, 2018.

Profundidade	2012		2014	
	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺
	(mg dm ⁻³)			
0 – 5	13,07	22,40	10,82	21,51
5 – 10	12,13	19,60	5,85	9,19
10 – 20	10,27	12,13	6,06	12,25
20 – 40	9,33	3,73	8,30	18,65
40 – 60	5,60	2,80	5,58	10,34

Fonte: Bortolli, 2016; Bernardon, 2016.

Para atender o objetivo proposto, o trabalho foi conduzido e avaliado em três fases. A fase I conduzida com pastagem de azevém (inverno 2015), a fase II cultivada com milho para silagem (verão 2015/2016) e a fase III com cultivo de feijão 2ª safra (verão 2016).

As hipóteses do presente trabalho são baseadas no manejo da biomassa dos cultivos em sistema de integração Lavoura-Pecuária e na adubação de sistemas, inversão da adubação nitrogenada (aplicação de 200 kg de N ha⁻¹ durante o cultivo da pastagem).

Afirma-se que esse manejo proporciona um melhor estado nutricional das plantas cultivadas nos sistema; que a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio é suficiente para suprir as necessidades nutricionais da pastagem e não ocorrer limitação de seu crescimento pela falta de demais nutrientes; que a adubação nitrogenada é fundamental em um manejo mais intenso da pastagem (baixa altura) para sustentabilidade do sistema e maior produtividade; que o efeito residual do N aplicado na fase de produção para cultura de grãos (soja, milho, feijão) não são suficientes para sustentar elevadas produções de forragem; ainda que o manejo da pastagem em sistema de integração Lavoura-Pecuária com adubação nitrogenada não causa perdas de fontes de nitrogênio mineral no solo (N-nitrato e N-amônio).

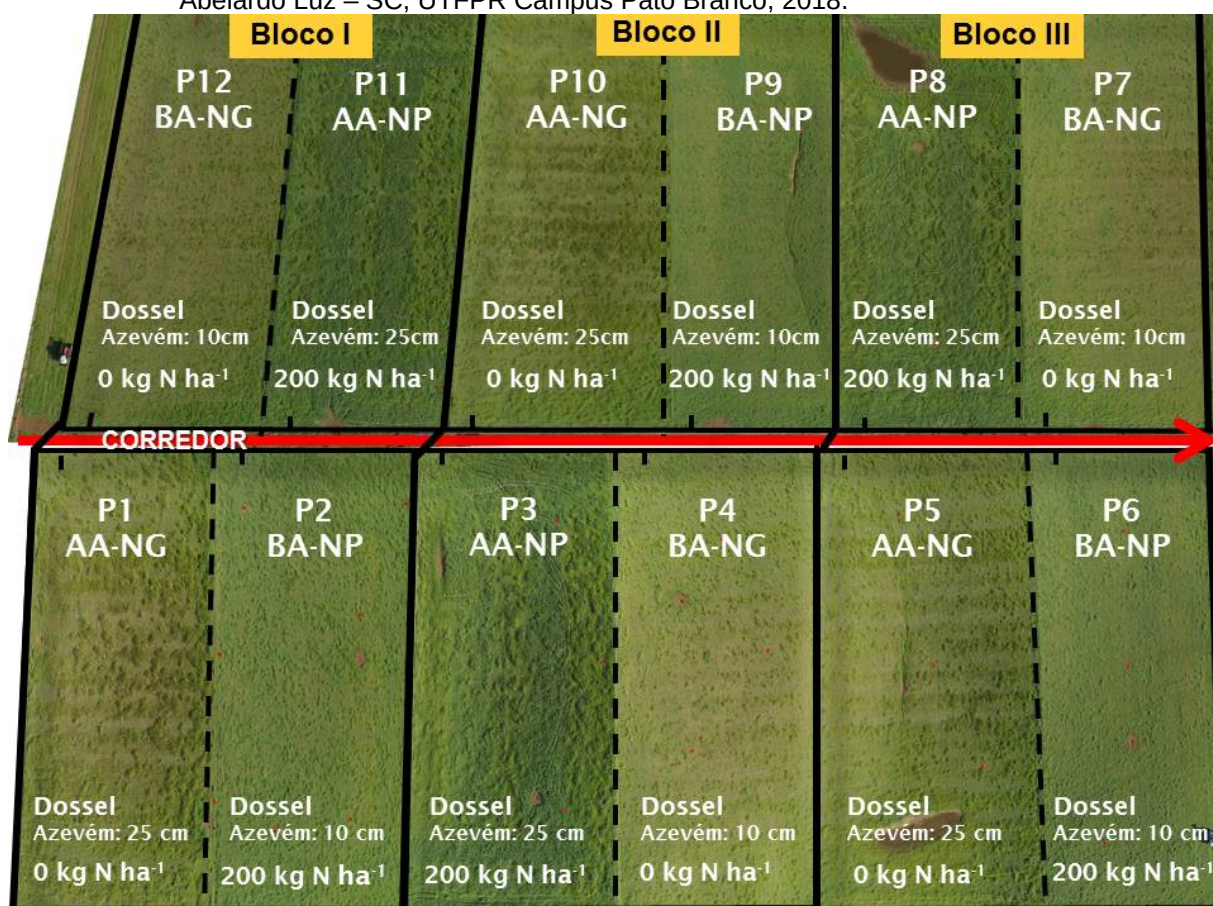
3.2 Condução do experimento

3.2.1 Fase I: Pastagem de Azevém

A fase I do experimento foi constituída pelo cultivo de pastagem de azevém, em que o delineamento experimental consistiu em blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 2, com três repetições (Figura 3). O primeiro fator foi constituído por Tempo de Adubação de N no sistema, com dois níveis: N aplicado na pastagem (N-Adubação Pastagem) e N aplicado na cultura de grãos, sucessora à pastagem (N-Adubação Grãos). Nesta fase, apenas as parcelas denominadas N-Adubação Pastagem receberam 200 kg de N ha⁻¹ em cobertura durante o perfilhamento do

azevém, em única aplicação, fonte ureia (45% de N) (Figura 3). Uma vez que, as parcelas denominadas N-Adubação Grãos não receberam adubação nitrogenada ($0 \text{ kg de N ha}^{-1}$). O segundo fator foi a Altura de Pasto, caracterizada por duas alturas de manejo da pastagem (Alta Altura de Pasto e Baixa Altura de Pasto), com alturas pretendidas de 25 e 10 cm, respectivamente. Entretanto as médias das alturas reais, durante todo o período experimental, foram de 22,04 e 13,67 cm, para Alta e Baixa Altura do Pasto, respectivamente, onde se obteve carga animal de 594,09 e $1.104,46 \text{ kg ha}^{-1}$ para alta e baixa altura. Esse delineamento foi base para da produção total de forragem da pastagem de azevém.

Figura 3 – Croqui experimental com a disposição dos tratamentos na fase I, pastagem de azevém, Abelardo Luz – SC, UTFPR Campus Pato Branco, 2018.



Fonte: Do autor, 2018.

Para o presente trabalho na fase I (pastagem de azevém), foram efetuadas avaliações do comportamento dos nutrientes no solo, foi incluído um

terceiro fator no experimento, a Profundidade de Amostragem do solo, com cinco níveis referentes às camadas amostradas: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. Perfazendo o delineamento experimental 2 x 2 x 5, com três repetições.

A cultura de grãos antecessora à pastagem de azevém foi à soja, a qual recebeu somente a realização de adubação no sulco de semeadura, na dose de 214 kg ha⁻¹ de Krista™ fosfato monoamônio (25,68 kg de N ha⁻¹ e 130 kg ha⁻¹ de P₂O₅), e 150 kg ha⁻¹ de Cloreto de Potássio aplicado a lanço (90 kg de K₂O).

A cultura do azevém foi estabelecida no dia 26 de março de 2015 a lanço, sobressemeado sobre a cultura da soja quando a mesma atingiu a maturação fisiológica e as folhas começaram a cair. A densidade de semeadura utilizada foi de 40 kg ha⁻¹ de sementes de azevém comum. Nas áreas que apresentaram falhas de semeadura, após a colheita da soja (07/04/2015) foi efetuado o replantio, também a lanço. As sementes de azevém utilizadas estavam disponíveis na propriedade. O azevém recebeu adubação de 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ e 60 kg K₂O ha⁻¹ a lanço no mês de maio de 2015, fonte de superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Nas parcelas N-Adubação Pastagem foram aplicados 200 kg de N ha⁻¹, fonte ureia (45% de N) no dia 21/05/2015.

Foi adotado o método de pastejo com lotação contínua com taxa de lotação variável (MOTT; LUCAS, 1952). Foram utilizados bovinos Charolês e ½ sangue Charolês, com peso médio 220 kg e 12 meses de idade, no início da avaliação. Todos os animais foram identificados com brincos plásticos e pesados. Os animais tiveram livre acesso à água e ao sal mineral. Para a pesagem dos animais, foi realizado jejum de sólidos e líquidos de 16 horas para a determinação do ganho de peso individual, ganho de peso vivo por hectare e carga animal.

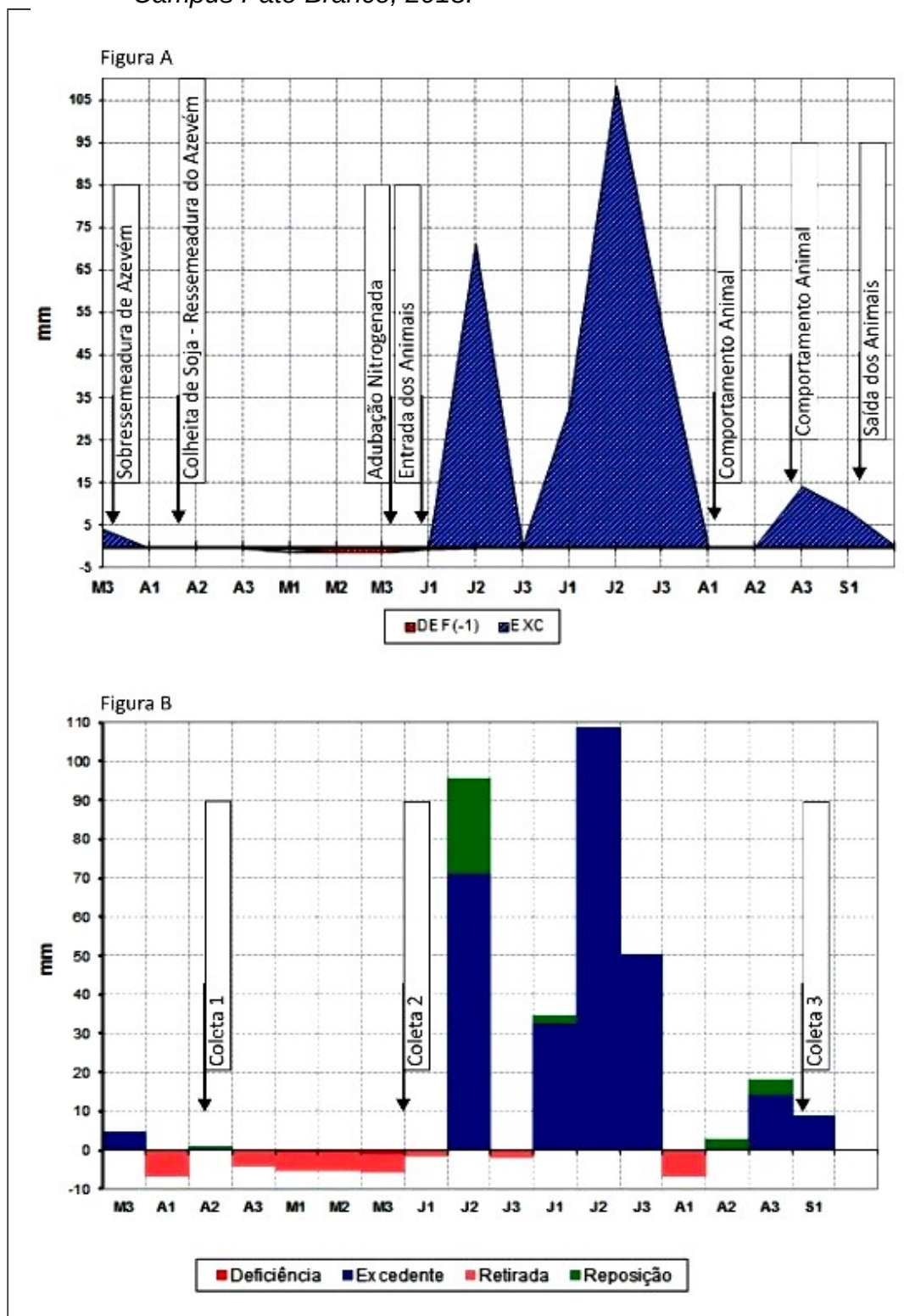
A entrada dos animais no pasto foi em 31 de maio de 2015, 66 dias após a semeadura, quando o azevém apresentava altura média de 19,7 cm, utilizando-o até o dia 5 de setembro de 2015, totalizando 96 dias de pastejo. Para o manejo das alturas de pasto, foi monitorada a altura duas vezes por semana, através da tomada de 40 pontos em cada unidade experimental, utilizando régua graduada em centímetros. Com os valores pode-se determinar a média da altura do pasto. Caso houvesse a necessidade de fazer modificações os animais reguladores eram retirados ou adicionados nos piquetes.

O ajuste na taxa de lotação buscou manter três animais testers sempre em cada unidade experimental e um número variável de animais reguladores para o ajuste da intensidade de pastejo. A entrada e saída dos animais reguladores da pastagem foram dependentes da distância entre o valor real de altura de pasto e o valor preconizado para cada altura do pasto.

Em todo o período da condução do azevém na Fase I do experimento as condições climáticas demonstradas pelo balanço hídrico apresentaram maiores excedentes de disponibilidade de água do que déficits (Figura 4 A). Assim, o desenvolvimento da pastagem de azevém não foi prejudicado por faltar de água.

Observou-se que durante as coletas de solo na fase I, azevém, apenas na amostragem dois dias após a saída dos animais houve um excedente de precipitação (Figura 4 B).

Figura 4 – Balanço hídrico da Fase I pastagem de azevém no inverno de 2015, tratos culturais e avaliações (A) e coletas de solo (B), Abelardo Luz, SC. UTFPR Campus Pato Branco, 2018.



3.2.2 Fase II: Milho silagem

Para a Fase II se manteve o delineamento experimental da Fase I, consistindo em blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 2, com três repetições (Figura 5). O primeiro fator foi constituído por Tempo de Adubação de N no sistema, com dois níveis: N aplicado na pastagem (N-Adubação Pastagem) e N aplicado na cultura de grãos, sucessora à pastagem (N-Adubação Grãos). Nesta fase, apenas as parcelas denominadas N-Adubação Grãos receberam 200 kg de N ha⁻¹ em cobertura em única aplicação no estádio V6-V7, fonte nitrato de amônio e cálcio (27% de N). O segundo fator foi a Altura de Pasto, caracterizada por duas alturas de manejo da pastagem durante a Fase I (Alta Altura de Pasto e Baixa Altura de Pasto). Embora o fator Alturas de Pasto não tenha sido obviamente, aplicado nesta fase experimental, manteve-se a avaliação de tal fator com o objetivo de ver o efeito residual das diferentes alturas de pasto sobre o subsequente cultivo das culturas de milho silagem e feijão 2^a safra. Esse delineamento foi base para da produção total de matéria seca do milho silagem.

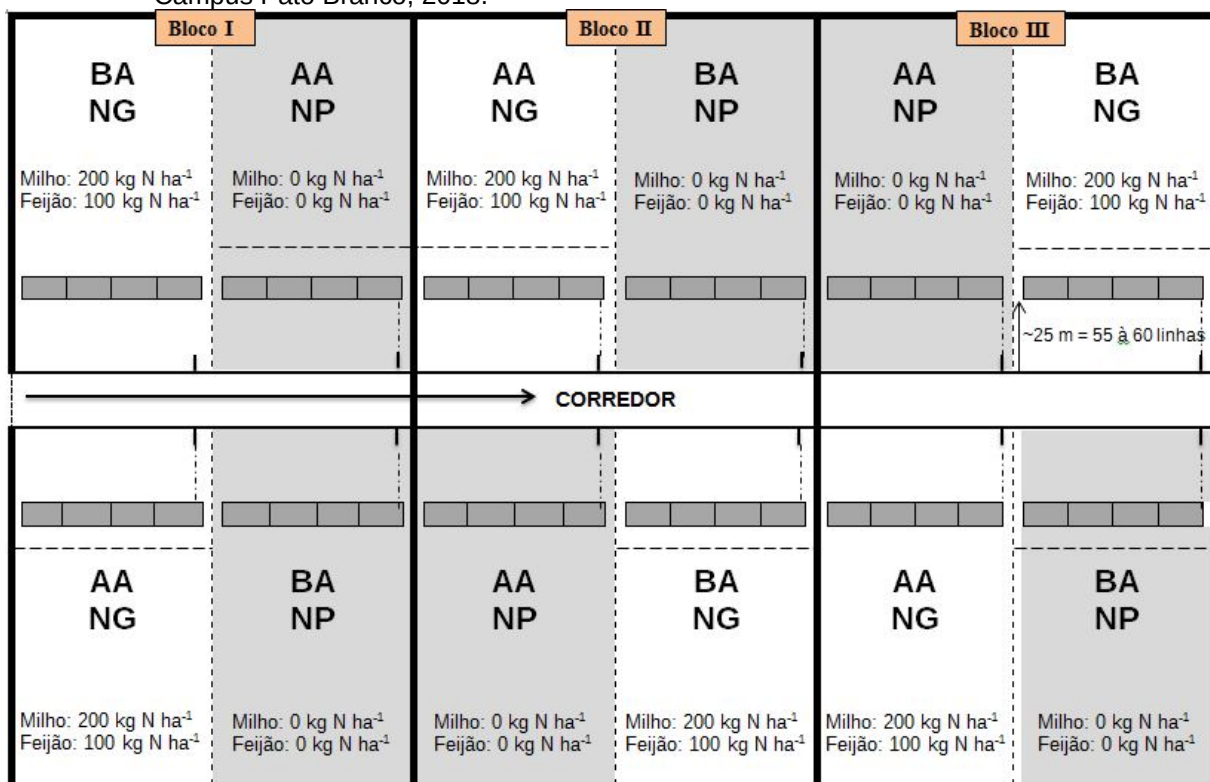
Nesta fase II, também foram efetuadas avaliações do comportamento dos nutrientes no solo, assim, para coleta desses dados foi incluído um terceiro fator no experimento, a Profundidade de Amostragem do solo, com cinco níveis referentes às camadas amostradas: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. Perfazendo o delineamento experimental 2 x 2 x 5, com três repetições.

Em continuidade para avaliação dos nutrientes no sistema ILP, foi efetuada a análise dos nutrientes (N, P e K) nas plantas de milho cultivadas para silagem, uma vez que, para a coleta e análise desses dados incluiu-se o fator ao delineamento experimental. Assim, formando o delineamento 2 x 2 x 5, contendo o fator dias após a semeadura do milho silagem (DAS) com cinco níveis, em que foram coletadas amostras da parte aérea das plantas cortando rente ao solo (35, 50, 71, 84 e 123 dias após a semeadura).

A cultura do milho foi estabelecida após a dessecação do azevém com 1,5 kg ha⁻¹ de herbicida (sal de amônio de glifosato) + 45 mL de adjuvante no dia 05/09/2015, logo após a retirada dos animais. A semeadura ocorreu no dia 14/09/2015, em sistema de plantio direto, com espaçamento de 45 cm entre linhas,

apresentando uma população média final de 60370 plantas ha⁻¹. Utilizou-se o híbrido AG8780 VT-Pro da Agrocere. A área foi adubada no sulco de semeadura com 350 kg ha⁻¹ do formulado NPK 09-26-14, totalizando 31,5 kg ha⁻¹ de N, 91 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 49 kg ha⁻¹ de K₂O.

Figura 5 – Croqui experimental com a disposição dos tratamentos na fase II e alocação das subparcelas na fase III no cultivo de feijoeiro em 2ª safra, Abelardo Luz – SC. UTFPR Campus Pato Branco, 2018.



Legenda:

AA – Alta Altura de Pasto

BA – Baixa Altura de Pasto

NP – N-Adubação Pastagem

NG – N-Adubação Grãos

Fonte: Do Autor, 2018.

Os tratamentos culturais ocorreram no âmbito de controle de plantas daninhas e de pragas, com somente uma única aplicação. Essa foi efetuada no dia 17/10/2015, com uso de 5,5 L de herbicida (Atrazina + Simazina), 180 mL de herbicida (Mesotriona), 1,2 L de inseticida (Clorpirifós) e 45 mL de adjuvante.

A adubação nitrogenada foi efetuada nas parcelas N-Adubação Grãos,

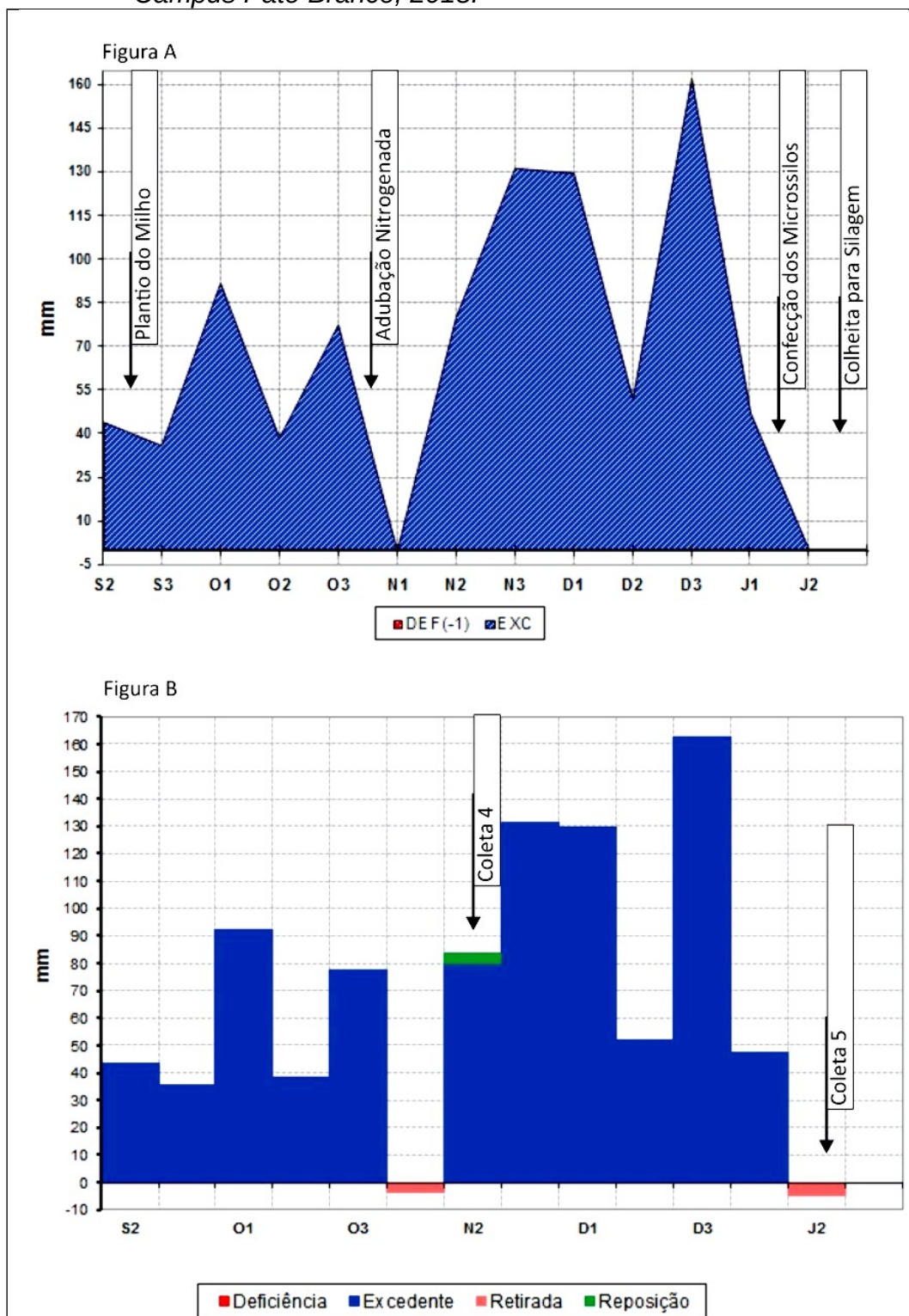
as quais não haviam recebido adubação nitrogenada durante o período de pastejo (Fase I). A aplicação da adubação nitrogenada ocorreu no dia 27/10/2015, quando o milho se encontrava no estágio de desenvolvimento V6-V7. Foi aplicado em cobertura na cultura do milho 200 kg ha⁻¹ de N em uma única aplicação, fonte nitrato de amônio e cálcio (27% de N).

No dia 23/01/2016 ocorreu à colheita mecanizada com colhedora automotriz em toda a área experimental do milho para silagem, quando os grãos atingiram a fase de grão pastoso e farináceo (30 a 35% de MS).

O balanço hídrico durante a Fase II, cultivo de milho para silagem, não é observado déficit de água, chegando a apresentar valores de 160 mm de excesso de água no terceiro decêndio de dezembro/2015 (Figura 6 A). Contudo, é visto que após a adubação nitrogenada do milho, ocorre uma redução de disponibilidade de água, demonstrando que até o último decêndio de outubro e início de novembro houve excesso.

Além disso, quando houve a amostragem de solo após a adubação nitrogenada na cultura (coleta 4 em 16/11/2015), no segundo decêndio de novembro, da aplicação de N até a amostragem houve uma retirada de água (Figura 6 B), o mesmo ocorreu na coleta após a colheita do milho para silagem (Coleta 5 m 24/01/2016).

Figura 6 – Balanço hídrico da Fase II milho silagem verão de 2015/2016, tratos culturais e avaliações (A) e coletas de solo (B), Abelardo Luz, SC. UTFPR Campus Pato Branco, 2018.



3.2.3 Fase III: Feijoeiro em 2ª safra

No Feijoeiro cultivado em 2ª Safra, houve uma modificação no delineamento experimental em relação à Fase I e II do experimento, foram acrescentadas doses crescentes de N que constituíram sub parcelas ao delineamento experimental. Assim, consistindo em um esquema fatorial $2 \times 2 \times 4$, com três repetições em blocos ao acaso (Figura 5 e 7). Uma vez que, o fator Tempo de Adubação de N foi aplicado na Fase I e II do experimento, bem como, o fator Altura de Pasto foi conduzido apenas durante a Fase I, de tal modo, na Fase III são testados os efeitos residuais desses dois fatores.

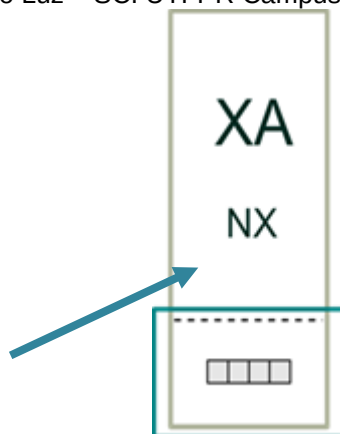
Desse modo, o delineamento experimental consistiu dos seguintes fatores: o primeiro fator foi constituído pelo Tempo de Adubação de N no sistema, com dois níveis: Na Fase I (inverno), apenas as parcelas que representam o nível N-Adubação Pastagem receberam adubação nitrogenada em cobertura e, na fase II somente as parcelas que representam o nível N-Adubação Grãos receberam a adubação de nitrogênio. O segundo fator foi a Altura de Pasto, caracterizada por duas alturas de manejo da pastagem durante a Fase I (Alta Altura de Pasto e Baixa Altura de Pasto). O terceiro fator foi constituído de doses crescentes de adubação nitrogenada aplicada apenas na Fase III do experimento em uma área pré-determinada em todas as combinações de parcelas (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos; Alta e Baixa Altura de Pasto), as doses consistiram de 0, 50, 100 e 150 kg de N ha⁻¹. Esse delineamento foi base para avaliar a produtividade do feijoeiro de 2ª Safra.

Do mesmo modo, que na Fase I e II do experimento, seguiu-se com a avaliação do comportamento dos nutrientes no solo durante a condução da Fase III. Assim, para essa avaliação incluiu-se um quarto fator ao delineamento ($2 \times 2 \times 4 \times 5$), o fator Profundidade de Amostragem de solo com cinco níveis referente às camadas amostradas: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm.

Ainda, para completar a avaliação do comportamento dos nutrientes no sistema de ILP, foi efetuada análise de nutrientes (N, P e K) nas plantas de feijoeiro, uma vez que, para a coleta e análise desses dados incluiu-se o fator ao delineamento experimental. Assim, formando o delineamento $2 \times 2 \times 4 \times 7$, contendo

o fator dias após a semeadura do feijoeiro (DAS) com sete níveis, em que foram coletadas amostras da parte aérea das plantas cortando rente ao solo (30, 36, 45, 50, 64, 80 e 92 dias após a semeadura).

Figura 7 – Croqui experimental com a alocação das subparcelas na fase III no cultivo de feijoeiro em 2ª safra, Abelardo Luz – SC. UTFPR Campus Pato Branco, 2018.



Legenda:

AA – Alta Altura de Pasto
BA – Baixa Altura de Pasto
NP – N-Adubação Pastagem
NG – N-Adubação Grãos

Fonte: Do Autor, 2018.

Para cultivar o feijoeiro em 2ª safra após a colheita do milho silagem, no dia 25/01/2016 foi realizada a dessecação da área da resteva do milho com 1,5 kg ha⁻¹ de herbicida (sal de amônio de glifosato), devido alta infestação de papuã. O cultivar de feijoeiro utilizado foi a IAC Milênio, tipo Carioca, semeada no dia 27/01/2016, em sistema de plantio direto, com espaçamento de 0,45 m entre linhas, com média de 10 sementes por metro, totalizando uma população média de 222.222 plantas ha⁻¹. Utilizou-se sementes tratadas antes do plantio com 2 mL kg⁻¹ de produto comercial com Cobalto+Molibdênio, 3 mL kg⁻¹ de inseticida (Imidacloprido + Tiodicarbe) e 2 mL kg⁻¹ de fungicida (Carbendazim + Tiram). A área foi adubada no sulco com 390 kg ha⁻¹ do formulado NPK 02-20-20, totalizando 7,8 kg ha⁻¹ de N, 78 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 78 kg ha⁻¹ de K₂O.

A adubação nitrogenada ocorreu em cobertura no dia 26/02/2016 nas subparcelas, quando as plantas encontravam-se em estágio V3-V4. Nas parcelas

Nas quatro subparcelas dos 12 piquetes (parcelas) foram aplicadas as doses crescentes conforme alocação das mesmas aleatoriamente (Figura 7), doses de 0; 50; 100 e 150 kg ha⁻¹ de N em única aplicação, fonte ureia (45% de N).

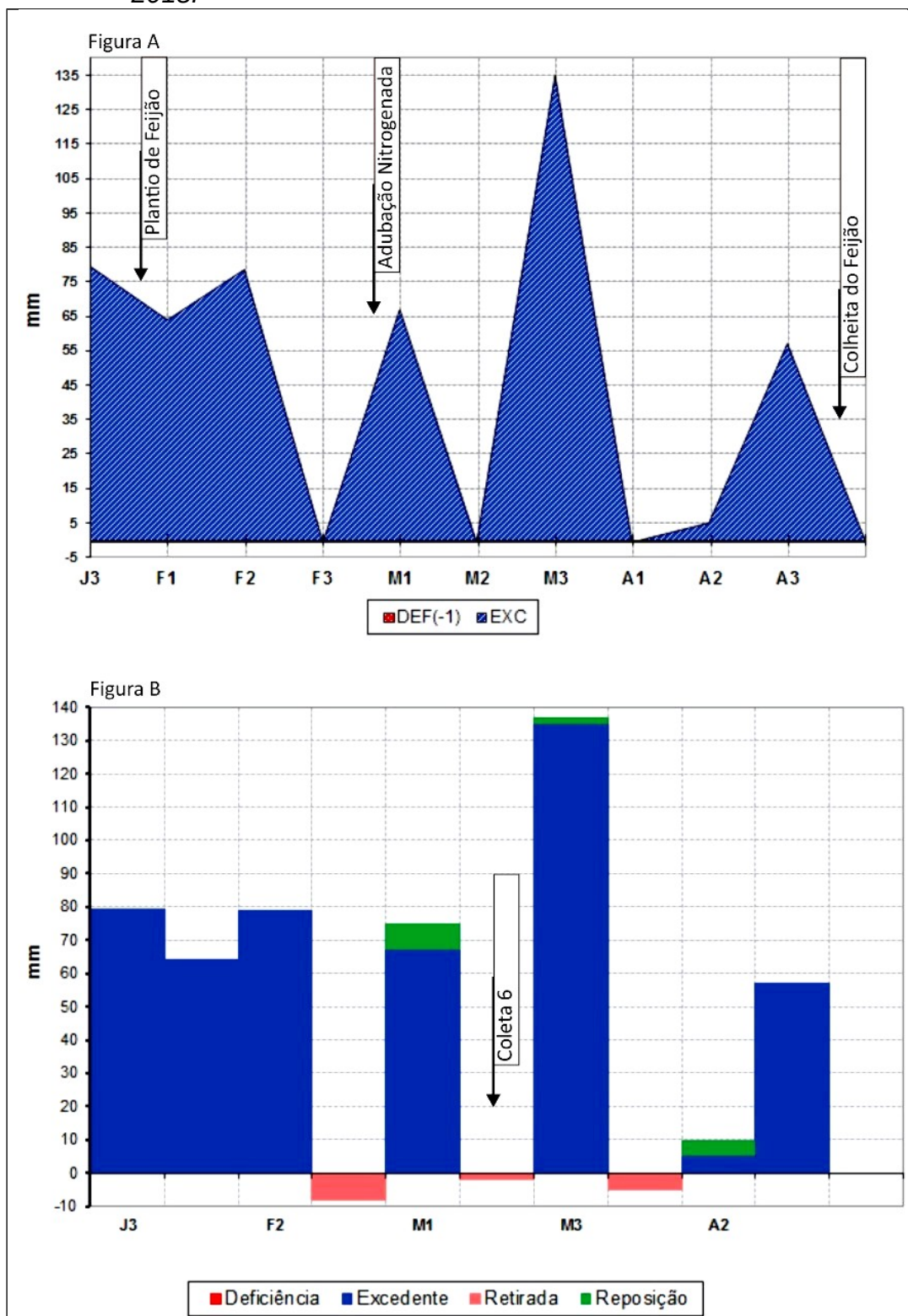
O manejo fitossanitário e de plantas daninhas foi efetuado a rigor durante o ciclo da cultura. No dia 17/02/2016 foi efetuada a única aplicação para controle de plantas daninhas, em conjunto com inseticida, foram aplicados 5,5 L de herbicida (Atrazina + Simazina), 180 mL de herbicida (Mesotriona), 1,2 L de inseticida (Clorpirifós) e 45 mL de adjuvante. No dia 08/03/2016 foi realizada a primeira aplicação de fungicida mais inseticida: 60 mL ha⁻¹ de fungicida (Clorimuron-Etílico), 1,5 kg ha⁻¹ de fungicida (Mancozebe), 0,2 L ha⁻¹ de inseticida (Lambda-Cialotrina + Chlorantraniliprole), 0,5 L ha⁻¹ de fungicida (Azoxistrobina + Difenconazol), e 150 mL ha⁻¹ de adjuvante com o intuito de prevenir e controlar fungos e insetos pragas do feijoeiro presentes na área. E no dia 28/03/2016 foi realizada a segunda aplicação de fungicida e inseticida: 0,5 L ha⁻¹ de fungicida, 0,5 kg ha⁻¹ inseticida (acefato+imadaclopir), 0,3 L ha⁻¹ de inseticida (metoxifenoza), 150 mL ha⁻¹ de adjuvante.

No dia 20 de abril de 2016 foi realizada a dessecação do feijoeiro com 2 L 1,5 L ha⁻¹ de herbicida dessecante (Diquate), 1,5 L ha⁻¹ de herbicida (Paraquate + Diurom) e 150 mL ha⁻¹ de adjuvante. A colheita das subparcelas foi realizada no dia 28/04/2016, por meio de arranquio manual das plantas de feijoeiro.

Durante o cultivo do feijão 2^a safra, na Fase III, o balanço hídrico não apresentou déficit de água que poderia prejudicar o desenvolvimento da planta, apenas excesso ao final do cultivo, para a colheita, que pode ter causado danos ao produto final (Figura 8 A). Contudo, é visto que após a adubação nitrogenada do milho, ocorre uma redução de disponibilidade de água, demonstrando que até o último decêndio de outubro e início de novembro houve excesso.

Contudo, após a adubação nitrogenada (26/02/2016), houve um excedente de disponibilidade de água, apenas reduzindo quando ocorreu a amostragem de solo, no segundo decêndio de março (12/03/2016) (Figura 8 B).

Figura 8 – Balanço hídrico da Fase III feijão 2ª safra verão 2016, tratos culturais e avaliações (A) e coletas de solo (B), Abelardo Luz, SC. UTFPR Campus Pato Branco, 2018.



3.3 Varáveis analisadas

Em toda a área experimental situada na Agropecuária C.M. Pacheco, localizada no município de Abelardo Luz, SC. foi efetuada amostragem de solo de 0 a 20 cm em agosto/2015 para recomendação de adubação de base com fósforo e potássio (P e K), e se necessário calagem, igualmente nas parcelas experimentais, conforme recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2004).

3.3.1 Avaliação do comportamento dos nutrientes no solo

Em todas as fases do experimento a amostragem do solo ocorreu para avaliar o comportamento do nitrogênio mineral no solo (formas de N-nitrato e N-amônio), fósforo disponível e potássio no perfil do solo, amostrando as camadas do solo de 0 a 60 cm de profundidade.

Na fase I, pastagem de azevém, as amostragens de solo ocorreram em três datas distintas. Primeira data entre o cultivo da soja e do azevém, após a colheita da soja e início do respectivo experimento, no dia 16/04/2015, tendo o intuito de identificar os teores iniciais dos elementos no solo. Segunda data, treze dias após a adubação nitrogenada em cobertura no perfilhamento do azevém, dia 04/06/2015. E terceira data, dois dias após a saída dos animais da pastagem, entre o cultivo de azevém e milho, no dia 07/09/2015. A coleta de solo ocorreu em três pontos aleatórios por piquete (parcela), formando uma amostra composta das camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

As amostragens de solo na Fase II, milho silagem, ocorreram em duas datas distintas. Primeira data 19 dias após a adubação nitrogenada em cobertura no milho, dia 16/11/2015. E a segunda data, um dia após colheita do milho para silagem, entre o cultivo de milho e feijão 2ª safra, no dia 24/01/2016. A coleta de solo ocorreu em três pontos aleatórios por piquete (parcela), formando uma amostra

composta das camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Na Fase III do experimento, feijoeiro 2ª Safra, as amostragens de solo ocorreram 16 dias após a adubação nitrogenada em cobertura no feijão, no dia 12/03/2016. Nesta fase a amostragem de solo ocorreu nas sub parcelas, devido às doses crescentes de N, deixando de lado a amostragem na parcela total, amostrando somente em cada sub parcela (doses crescentes de N), as camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Para a coleta de solo foi utilizada pá de corte e, após as amostras foram conduzidas para secagem em estufa a 55 °C por cinco dias. Essas, após secas foram moídas em peneiras com malha de 2 mm e então conduzidas para análise.

A análise de nitrato e amônio foi efetuada conforme a metodologia de Bremner e Keeney (1966), pelo método Kjeldahl de destilação de arraste a vapor utilizando KCl 1M, conforme descrito por Tedesco et al. (1995).

A determinação dos teores de potássio e de fósforo no solo foi efetuada pelo método do extrator duplo ácido, Mehlich-1, que solubiliza parte do P adsorvido pelos constituintes do solo e, desloca a maior parte do K trocável, metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

3.3.2 Avaliação de nutrientes em plantas de milho silagem e feijoeiro 2ª safra

Com o objetivo de efetuar o diagnóstico antecipado do estado nutricional nitrogenado para a cultura do milho silagem, foram efetuadas amostragem de plantas na segunda fase do experimento, tendo como base para os possíveis efeitos os tratamentos aplicados na fase I do respectivo experimento. Já para a avaliação do estado nutricional nitrogenado da cultura do feijoeiro, foram efetuadas amostragem de plantas na terceira fase do experimento, tendo como base para os possíveis efeitos os tratamentos aplicados na fase I e II do respectivo experimento.

Para desenvolver a curva de diluição de nitrogênio (N) utilizou-se das variáveis de massa seca acumulada (MS) e a concentração de N na parte aérea das

plantas de milho silagem e do feijoeiro.

Os cortes da parte aérea das plantas de milho silagem foram rentes ao solo aos 35, 50, 71, 84 e 123 dias após a semeadura (DAS), no intervalo de crescimento e desenvolvimento da planta de V5 (estádio vegetativo com cinco folhas expandidas com colar visível) até R5 (estádio reprodutivo com grão massa dura, ponto de ensilagem). As amostragens da parte aérea das plantas foram efetuadas coletando-se rente ao solo uma área de 0,90 m² (2 m x 0,45 m), para duas linhas de semeadura escolhidas aleatoriamente na parcela por data de coleta. No dia 19/10/2015 foi realizado o primeiro corte das plantas de milho silagem, anterior a aplicação da adubação nitrogenada quando a cultura atingiu em média 115 kg de MS ha⁻¹, em todas as parcelas.

Para o feijoeiro em safrinha, foram realizados cortes da parte aérea das plantas rente ao solo aos 30, 36, 45, 50, 64, 80 e 92 dias após a semeadura, no intervalo de V4 (estádio vegetativo com 3 folhas trifolioladas totalmente expandidos) até R9 (estádio reprodutivo de maturação fisiológica). As amostragens da parte aérea das plantas foram efetuadas coletando-se rente ao solo uma área de 0,672 m² (1,5 m x 0,45 m), nas linhas de semeadura alocadas em cada subparcela. No dia 26/02/2016 foi realizado o primeiro corte das plantas de feijão, anterior a aplicação da adubação nitrogenada quando a cultura atingiu em média 400 kg de MS ha⁻¹, em todas as subparcelas.

Após corte, pesagem e secagem das plantas de milho e feijão em estufa de ar forçado a 55 °C, as mesmas foram moídas em moinho tipo “Willey” utilizando peneira com malha 1 mm. A análise do estado nutricional das plantas foi realizada no laboratório de qualidade agroindustrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco-PR. As concentrações de N foram determinadas por meio de digestão sulfúrica e destilação pelo método semi-micro-Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995).

O estado nutricional de nitrogênio das plantas foi determinado a partir dos dados de acúmulo de MS das plantas e da concentração de N na parte aérea das plantas, por meio de regressão não-linear:

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

Onde: N % = concentração de N na planta expressa em percentual de matéria seca; MS = quantidade de matéria seca acumulada em kg ha⁻¹ na parte aérea das plantas; a = coeficiente que representa o teor de N na planta para cada 1.000 kg ha⁻¹ de matéria seca acumulada na parte aérea das plantas; b = coeficiente que caracteriza a velocidade de redução do teor de N durante o crescimento e desenvolvimento da planta (LEMAIRE; SALETTE, 1984).

Os coeficientes a e b e as curvas de diluição de nitrogênio (isto é, regressões não lineares) foram determinados em cada combinação de tempo de adubação de N e altura de pasto para o milho silagem. E para o feijoeiro em cada combinação de doses crescentes de N aplicadas no feijoeiro, utilizando-se o software estatístico Statgraphics para gerar os parâmetros e, posteriormente contrastar os resultados obtidos nas curvas geradas com a equação proposta por Lemaire e Salette (1984), para as espécies de plantas C3: $N\% = 4,8(MS) - 0,32$ e Lemaire (1997) para espécies de plantas C4: $N\% = 3,4(MS) - 0,37$.

Na determinação de uma curva N crítica para os dados do feijoeiro, foi efetuada a identificação de pontos de dados para os quais o N não limitava o crescimento da parte aérea ou não estava em excesso. Esses pontos de dados correspondem a uma taxa de N 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 esses pontos de dados.

3.3.3 Produção de Matéria Seca e Produtividade de Grãos de plantas

Com o objetivo de avaliar o efeito do tempo de adubação de N (adubação de sistema) e do manejo das alturas de pasto, foram efetuadas amostragem de plantas e de grãos para obter a produção de forragem total da pastagem de azevém (Fase I), produção de matéria seca do milho silagem (Fase II) e o rendimento de grãos do feijoeiro 2^a safra (Fase III).

Na fase I, para determinar a produção de forragem total da pastagem de azevém, foi preciso avaliar a taxa de acúmulo de matéria seca diária da forragem

(kg MS ha⁻¹ dia) e massa de forragem inicial (kg de MS ha⁻¹).

A avaliação de taxa de acúmulo de matéria seca foi a cada 28 dias, por meio da técnica do duplo emparelhamento descrita por CAMPBELL (1966), usando três gaiolas de exclusão ao pastejo por unidade experimental (parcelas). As gaiolas de exclusão de pastejo apresentavam formato trapezoidal com 1 m² de área de base e 90 cm de altura, utilizando como material tela de arame de aço galvanizado, malha de 50x100 mm, nas laterais e na parte superior.

Uma moldura metálica de 0,25 m² de área foi utilizado para a amostragem de forragem dentro e fora das gaiolas. As gaiolas de exclusão foram distribuídas em três pontos representativos dos tratamentos por piquete e realocadas a posição após cada avaliação. Na escolha das áreas foi considerado a topografia, densidade de forragem, massa de forragem, composição botânica e estrutural do local. As amostras de forragem foram cortadas rente ao solo, as sendo posteriormente levadas para uma estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 55°C, até peso constante.

Por meio da equação sugerida por Campbell (1966) foi estimada a taxa de acúmulo diário de matéria seca:

$$TA_j = (DGi - FGi-1) / n$$

onde: TA_j = Taxa de acúmulo de matéria seca diária (kg de MS ha⁻¹ dia-1) no período j;

DGi = Média da quantidade de MS ha⁻¹ dentro das três gaiolas de exclusão ao pastejo no instante i;

FGi-1 = Média da quantidade de MS ha⁻¹ nos três pontos na avaliação fora das gaiolas no instante i-1;

n = número de dias do período j.

A massa de forragem (kg de MS ha⁻¹) foi estimada a cada 28 dias, por meio de cinco cortes de forragem em um retângulo de 0,25 m², aleatórios por unidade experimental. As amostras cortadas rentes ao solo foram embaladas em sacos de papel Kraft e secas em estufa com circulação de ar forçada a 55 °C até peso constante. As amostras, então, foram pesadas em balança de precisão de um

grama e o valor extrapolado para kg de MS ha⁻¹. A média da massa de forragem de cada período foi calculada por meio da soma da MF inicial do período com a MF final do período dividido por dois.

A produção de forragem total (kg ha⁻¹) foi estimada pelo somatório da massa de forragem inicial com as produções de cada período, obtidas multiplicando-se a taxa de acúmulo diário pelo número de dias do período.

Na fase II, para a avaliação da produção de matéria seca total do milho silagem, foi efetuada uma amostragem em uma área de 2,25 m² em três pontos de cada parcela aos 123 dias após a semeadura, ao final do cultivo do milho (17/01/2016).

As amostras de forragem foram cortadas rente ao solo, pesadas para obter a matéria verde (kg MV ha⁻¹) e posteriormente levadas para uma estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 55°C, até peso constante, assim obtendo a matéria seca (kg MS ha⁻¹). Por meio dos dados de matéria verde e matéria seca, em conjunto com a área de amostragem de plantas, foi estimada a produção de matéria seca total do milho silagem ao final de seu cultivo.

Na fase II, com o intuito de observar o efeito de doses crescente de N aplicadas em cobertura no feijoeiro 2^a Safra, em conjunto com o efeito residual do manejo da pastagem e do tempo de adubação nitrogenada na Fase I e II, foram avaliados os componentes de rendimento (número de vagens por planta, número de grãos por vagem, peso de mil grãos) e o rendimento de grãos do feijoeiro.

A colheita das sub parcelas do feijoeiro safrinha para estimativa de rendimento de grãos (kg ha⁻¹) ocorreram no dia 28/04/2016, por meio de arranquio manual em uma área de 5,625 m² de cada sub parcela. As plantas colhidas foram trilhadas, pesadas e determinada a umidade com correção para 13%, obtendo o rendimento de grãos de cada sub parcela (Dose crescentes de N= 0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N).

Para determinação do número de vagens/planta e número de grãos/vagem foram coletadas 15 plantas aleatoriamente em uma área de 37,80 m² (3,6 m x 10,5 m). O peso de mil grãos foi efetuado a partir das amostras de feijoeiro colhidas para determinar o rendimento de grãos de cada sub parcela, fazendo a contagem e pesagem desses grãos.

3.4 Análise estatística dos dados

Os dados das variáveis observadas foram analisados utilizando o software estatístico Statgraphics, comparando-os pela diferença mínima significativa, em nível de 5% de significância. Quando houve efeito de interação foi efetuado desdobramento da mesma.

A representação das médias e respectiva DMS, das curvas de diluição de nitrogênio, foram representadas graficamente, utilizando-se o aplicativo computacional estatístico SigmaPlot® versão 12.0 (Systat Software, San Jose, CA).

3.4.1 Avaliação do comportamento dos nutrientes no solo

Os dados referentes à amostragem de solo nas fases I e II foram submetidos à análise de variância (alfa= 5%) conforme esquema trifatorial 2 x 2 x 5, em parcelas subdivididas. Fator A= Tempo de Adubação de N (N-Adubação Grãos e N-Adubação Pastagem); Fator B= Altura de Pasto (Alta e Baixa Altura); e, Fator C= Profundidade de Amostragem do solo (0-5; 5-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm), em delineamento blocos ao acaso, com três repetições.

Os dados referentes à amostragem de solo na fase III do experimento, foram submetidos à análise de variância (alfa= 5%) conforme esquema trifatorial 2 x 2 x 4 x 5, em parcelas subdivididas. Fator A= Tempo de Adubação de N (N-Adubação Grãos e N-Adubação Pastagem); Fator B= Altura de Pasto (Alta e Baixa Altura); e, Fator C= Doses crescentes de N (0; 50; 100 e 150 kg de ha⁻¹ de N), Fator D= Profundidade de Amostragem do solo (0-5; 5-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm), em delineamento blocos ao acaso, com três repetições.

3.4.2 Avaliação de nutrientes em plantas de milho silagem e feijoeiro 2ª safra

Os dados referentes à matéria seca acumulada e teor de N na parte aérea das plantas de milho silagem amostradas nas parcelas com a combinação dos fatores Tempo de Adubação de N e Altura de Pasto durante as 7 coletas na Fase II

do experimento, foram submetidos à análise de variância pelo teste F (alfa= 5%) conforme esquema trifatorial 2 x 2 x 5, em parcelas subdivididas. Fator A= Tempo de Adubação de N (N-Adubação Grãos e N-Adubação Pastagem); Fator B= Altura de Pasto (Alta e Baixa Altura); e, Fator C= dias após a semeadura (35, 50, 71, 84, e 123 DAS) em delineamento blocos ao acaso, com três repetições.

Os dados referentes à matéria seca acumulada e teor de N na parte aérea das plantas do feijoeiro amostradas nas subparcelas com Doses crescentes de N durante as 7 coletas na Fase III do experimento, foram submetidos à análise de variância pelo teste F (alfa= 5%) conforme esquema trifatorial 2 x 2 x 4 x 7, em parcelas subsubdivididas. Fator A= Tempo de Adubação de N (N-Adubação Grãos e N-Adubação Pastagem); Fator B= Altura de Pasto (Alta e Baixa Altura); e, Fator C= Doses crescentes de N (0; 50; 100 e 150 kg ha⁻¹ de N); Fator D: dias após a semeadura (30, 36, 45, 50, 64, 80 e 92 DAS) em delineamento blocos ao acaso, com três repetições.

Para a determinação das curvas de diluição de N foi efetuada regressão não-linear dos dados selecionados gerando os coeficientes utilizando o software estatístico Statgraphics.

3.4.3 Produção de matéria seca e Produtividade de grãos de plantas

Os resultados de produção de forragem total da pastagem de azevém, de produção de matéria seca total do milho silagem, do rendimento de grãos e dos componentes de rendimento do feijoeiro em safrinha, foram submetidos à análise de variância com as hipóteses testadas pelo teste F ($P < 0,05$). Para avaliar o efeito das doses crescentes de N foi utilizada uma análise de regressão não-linear.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Comportamento de nutrientes no solo

4.1.1 Comportamento de N-Mineral no solo na forma de N-Amônio

Na implantação do experimento de integração Lavoura-Pecuária em 2012, antes do cultivo de sorgo forrageiro (Tabela 2), observaram-se maiores valores de nitrogênio mineral (N-mineral) na camada superficial do solo (0-10 cm), com teores de N-amônio (N-NH₄) maiores que de N-nitrato (N-NO₃) (BORTOLLI, 2016).

Na fase I, pastagem de azevém (inverno 2015), a primeira data de avaliação (16/04/2015) de nitrogênio mineral no solo na forma de amônio (N-NH₄) e nitrato (N-NO₃) foi entre a colheita de soja e o início do experimento com a pastagem de azevém (final da safra 2014/2015). Constatou-se efeito significativo de interação tripla Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto x Profundidade de Amostragem de solo sobre os teores de N-NH₄ (P<0,0006) (Anova anexo 1). No desdobramento da interação para N-NH₄ (Figura 9 após colheita soja) houve o isolamento do fator Altura de Pasto (Anova desdobramento anexo 3 e 4).

Apesar do cultivo da soja, não ter recebido adubação nitrogenada os menores teores de N-NH₄, ao contrário do que se esperava, foram observados nas parcelas que receberam adubação nitrogenada durante o cultivo da pastagem de aveia preta + azevém (inverno 2014) que antecedeu o cultivo da soja (N-Adubação Pastagem), quando a pastagem foi manejada a Alta Altura de Pasto (Figura 9 após colheita soja).

Esses menores valores observados ao final do cultivo da soja nas parcelas que receberam adubação nitrogenada na pastagem (N-Adubação Pastagem) (Figura 9 após colheita soja), provavelmente podem ser resultantes de uma inibição da fixação biológica de nitrogênio (FBN) na soja devido o possível aumento dos teores de N mineral no solo nas parcelas N-Adubação Pastagem, proporcionados pela decomposição mais rápida dos resíduos de aveia preta + azevém, quais apresentavam uma concentração média de N entorno de 28,6%

superior ao verificado nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada na pastagem (N-Adubação Grãos), ao final da fase pastejo que antecedeu o cultivo da soja (BERNARDON, 2016).

Além disso, a contribuição de maior quantidade de massa seca sobre o solo nas parcelas manejadas em Alta Altura de Pasto ($3.421 \text{ kg MS ha}^{-1}$) e que receberam adubação nitrogenada na pastagem (Figura 8 A) (BERNARDON, 2016), pode ter proporcionado uma maior taxa de liberação de N dos resíduos, assim, aumentando os teores de N-NH_4 no solo e estes foram absorvidos pela soja, retardando o início da FBN. Visto que, em estudo da taxa de decomposição de resíduos e liberação de nutrientes de trigo de duplo propósito submetido a diferentes períodos de pastejo à 25 cm de altura de pasto, Assmann et al. (2014), constataram aumento da decomposição de matéria seca depositada sobre o solo com o aumento de dias em que as plantas de trigo propósito foram pastejadas.

Desse modo, a adubação nitrogenada aplicada na pastagem e o manejo de altura do pasto podem ter contribuído para maiores taxas de decomposição e liberação de nutrientes da pastagem aumentando os teores de N mineral no solo, assim, podendo retardar o início do processo de FBN pela soja e reduzir os teores de N do solo ocasionados pela absorção da planta.

Corroboram com essa suposição os estudos de fixação biológica de N_2 sob diferentes manejos da soja executados por Alves-Pereira et al. (2007), nesses estudos os autores observaram que houve uma redução da fixação biológica de N_2 pela soja quando a mesma foi manejada sob sistema de plantio direto com maior número de espécies vegetais em rotação. Esses autores, afirmaram que a redução da FBN pode estar relacionada com os teores mais elevados de N no solo, que retardariam o início do processo de FBN, uma vez que, a soja teria a disponibilidade de nitrogênio no solo para seu crescimento.

Todavia, menores valores de N-NH_4 mantiveram-se nas parcelas N-Adubação Pastagem na camada amostrada de 0-5 cm quando a pastagem foi manejada em Baixa Altura de Pasto (Figura 9 após a colheita da soja), com declínio conforme o aumento da profundidade do solo. Porém, a intensificação do manejo proposta pelo pastejo em Baixa Altura de Pasto realizado anteriormente ao cultivo da soja, com maior quantidade de animais por parcela, tende a ofuscar o tratamento

Tempo Adubação de N, visto a desconformidade apresentada nos teores de N-NH₄ entre os Tempos de Adubação de N conforme o aumento de profundidade no perfil do solo (Figura 9 após a colheita da soja).

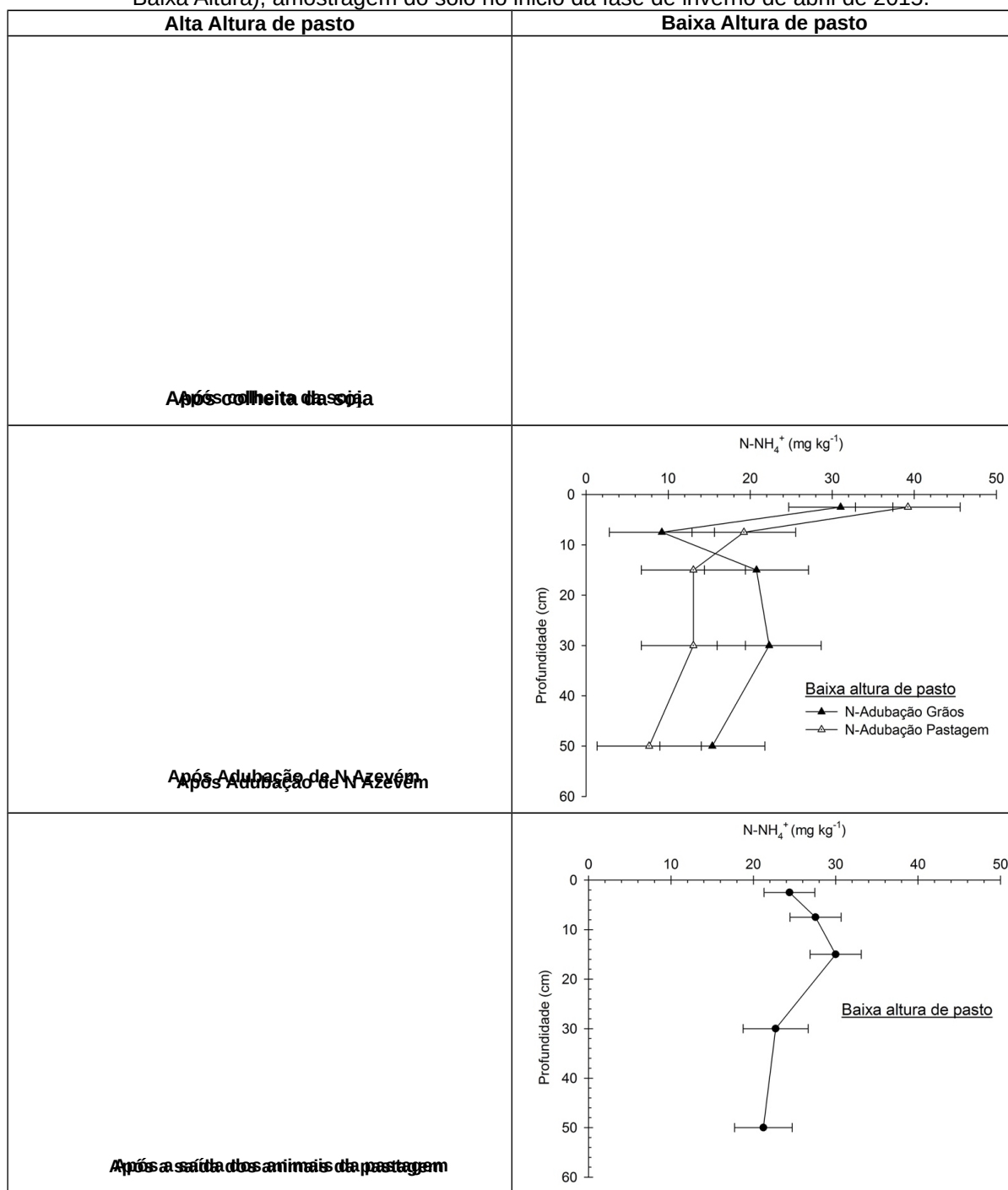
Além disso, os maiores teores médios de N-NH₄ observados na camada amostrada de 0 – 10 cm, nas parcelas manejadas em Baixa Altura de Pasto (12, 82 mg kg⁻¹ de N-NH₄) em relação as parcelas manejadas em Alta Altura de Pasto (9,03 mg kg⁻¹ de N-NH₄) (Figura 9 após a colheita da soja), podem estar relacionados com a maior ciclagem de nutrientes provocada por um pastejo mais intenso, maior número de animais na parcela e conseqüentemente, maior deposição de excretas dos animais (esterco e urina).

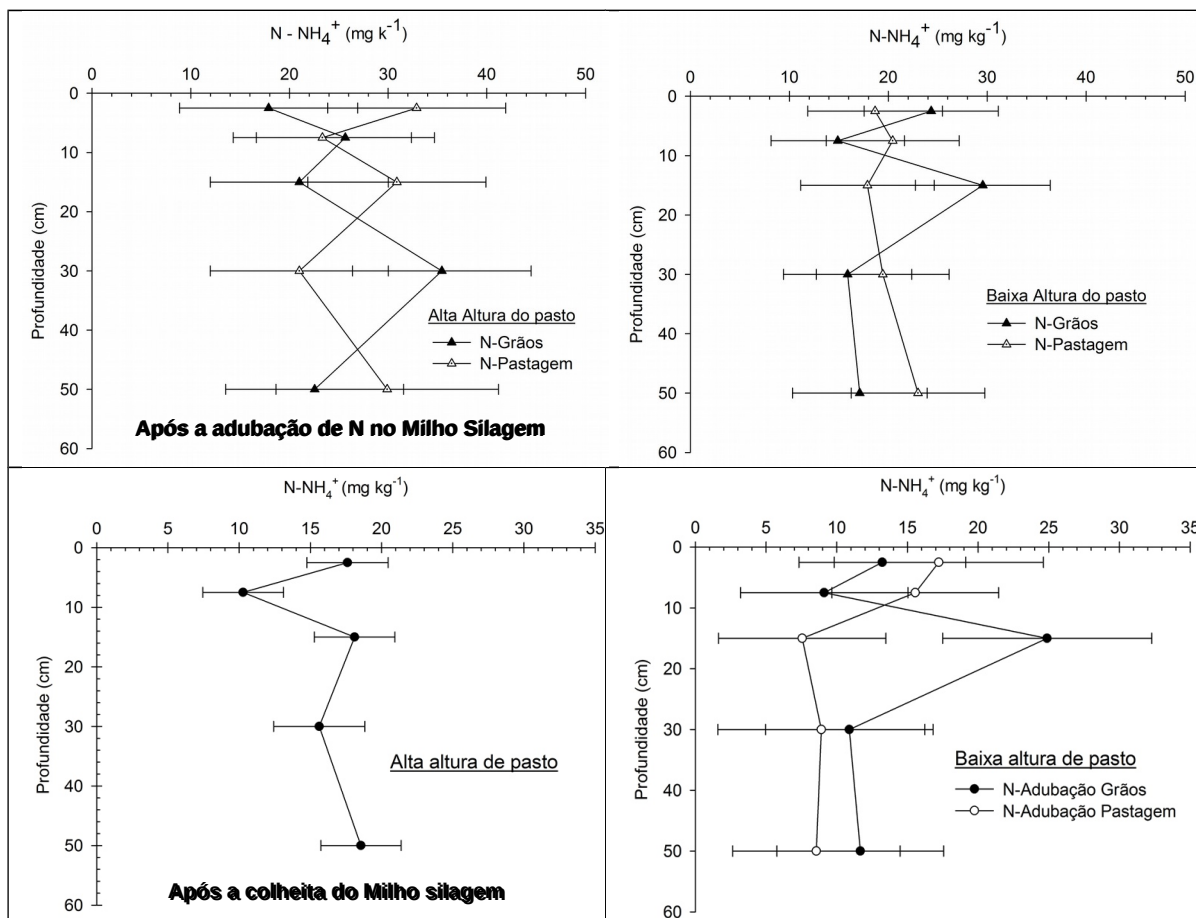
Na coleta de solo dez dias após a aplicação de N em cobertura na pastagem de azevém no inverno de 2015 (04/06/2015), constatou-se a interação entre os fatores Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto x Profundidade de Amostragem de solo sobre os teores de N-NH₄ (P<0,0353) (Anova anexo 7). Para o desdobramento das interações foi fixado o fator Altura de Pasto (Figura 9 após adubação de N pastagem) (Anova desdobramento anexo 9 e 10).

Os teores de N-NH₄ apresentaram comportamento similar em profundidade no perfil do solo entre os manejos das Alturas de Pasto, com maiores valores na camada de 0-5 cm, reduzindo com o aumento da profundidade de solo amostrada após a aplicação de N em cobertura no azevém apenas nas parcelas N-Adubação Pastagem (Figura 9 após a adubação de N na pastagem).

Do mesmo modo, amostrando o solo dez dias após adubação de N e pastagem de aveia preta + azevém no inverno de 2014, Bernardon (2016) observou maiores valores de N-NH₄ na camada amostrada de 0-5 cm apenas nas parcelas que receberam adubação nitrogenada (N-Adubação Pastagem). O autor ressalta que o resultado era esperado, devido a aplicação em cobertura de ureia nas parcelas N-Adubação Pastagem em relação às parcelas N-Adubação Grãos, que não receberam N em cobertura no cultivo da pastagem.

Figura 9 – Teor de N-Amônio após: o cultivo de soja, a adubação de N no azevém, a saída dos animais da pastagem, a adubação de N no milho silagem e a colheita do milho silagem, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e do manejo da Altura de Pasto na pastagem cultivada no inverno de 2014 (Alta Altura e Baixa Altura), amostragem do solo no início da fase de inverno de abril de 2015.





Médias comparadas pelo teste LSD a 5% de probabilidade CV geral após a colheita da soja ($N-NH_4$) = 44,10%; CV geral após a adubação de N azevém ($N-NH_4$) = 53,24%; CV geral após saída dos animais da pastagem ($N-NH_4$) = 24,11%; CV geral após adubação de N no milho silagem ($N-NH_4$) = 31,94% e CV geral após colheita do milho silagem ($N-NH_4$) = 92,69%.

Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos; Alta Altura de Pasto: manejo da pastagem à 25 cm de altura; Baixa Altura de Pasto: manejo da pastagem à 10 cm de altura.

Ainda na Fase I do experimento, na amostragem de solo após dois dias da saída dos animais (07/09/2015), constatou-se influência da interação tripla Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto x Profundidade de Amostragem do solo sobre os teores de $N-NH_4$ ($P < 0,0002$) (Anova anexo 13). No desdobramento da interação para $N-NH_4$ (Figura 9 após a saída dos animais) houve a fixação do fator Altura de Pasto (Anova desdobramento anexo 15 e 16).

Ao término do período de cultivo da pastagem de azevém em 2015, os teores de $N-NH_4$ foram superiores aos observados ao término do período de cultivo da soja no verão 2014/2015 e início do presente estudo. Uma vez que, os teores médios de $N-NH_4$ nesta Fase I (pastagem de Azevém) variaram entre 24,4 a 30,6 mg kg^{-1} (Figura 9 após a saída dos animais), na profundidade de 0-20 cm, comparados com valores que variaram de 7,7 a 15,4 mg kg^{-1} , na profundidade de 0-20 cm após a

colheita da soja, nas parcelas que foram pastejadas tanto à Alta Altura de Pasto como à Baixa Altura de Pasto.

Além disso, quando a pastagem recebeu adubação nitrogenada no perfilhamento e foi manejada em Baixa Altura de pasto constatou-se maiores teores de N-NH₄ (Anova desdobramento anexo 16), ficando claro o potencial da adubação de N em cobertura na pastagem no sistema ILP, ou seja, a atuação da adubação de sistemas, em relação a contribuição que se esperava após o cultivo da soja nos teores de N mineral no solo.

O comportamento dos valores de N-NH₄ (Figura após a saída dos animais), enfatizam o aporte de excretas dos animais e da ciclagem de nutrientes promovida pela adubação nitrogenada em cobertura na pastagem, sobretudo, pelo N-NH₄ ser utilizado pelos microrganismos do solo como fonte de energia para o crescimento microbiano, imobilizando-o temporariamente em seu organismo (ASSMANN et al., 2018).

Da mesma forma, Liu et al. (2011) observaram maior imobilização de N quando houve aumento na taxa de fertilização nitrogenada em pastagem de Tifton, ao contrário do que esperavam, uma vez que, os autores relatam o uso deste nutriente para crescimento da biomassa microbiana e posteriormente para decompor a palhada residual de maior relação C/N.

Nas parcelas pastejadas à Baixa Altura de Pasto observou-se o efeito isolado do fator Profundidade de Amostragem sobre os teores de N-NH₄ (Figura 9 após a saída dos animais). O comportamento dos valores de N-NH₄ em profundidade no perfil do solo nas parcelas Baixa Altura de Pasto é similar ao que ocorre nas parcelas manejadas em Alta Altura do Pasto (Figura 9 após a saída dos animais), porém, os teores médios N-NH₄ no manejo em Alta Altura são maiores (30,2 mg kg⁻¹) em relação a Baixa Altura (25,9 mg kg⁻¹) na camada superficial do solo (0-10 cm), reduzindo com o aumento da profundidade no perfil do solo.

Ainda, no desdobramento da anova nas parcelas manejadas em Baixa Altura de pasto, foi constatado efeito isolado também do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem; N-Adubação Grãos) (P<0,0002 / Anova anexo 16). Uma vez que, a pastagem manejada em maior pressão de pastejo que recebeu adubação nitrogenada em cobertura no perfilhamento proporcionou maiores teores de N-NH₄

(28,44 mg kg⁻¹) em relação as parcelas que não receberam N na Fase I (pastagem) no mesmo manejo de altura do pasto (21,89 mg kg⁻¹).

Essa diferença tende a ser resultado da maior nutrição nitrogenada proporcionada às plantas de azevém que receberam N no perfilhamento, melhorando sua qualidade nutricional e estrutural (menores teores de lignina), o que pode ter influenciado na decomposição desses resíduos após o pastejo. Bem como, em conjunto com a maior pressão de pastejo proporcionada pela desfolha constante da planta pelos animais há maior retorno de N via fezes e urina, visto que o animal consome a pastagem nutrida (nas parcelas N-Adubação Pastagem) e recicla os nutrientes rapidamente, proporcionando os maiores teores de N-NH₄ no solo nas parcelas N-Adubação Pastagem manejadas a Baixa Altura de pasto.

Aproximadamente 62% do nitrogênio ingerido pela alimentação bovina retorna ao solo via urina (RODRIGUES et al., 2008). Por vez, grande parte do N na urina do bovino esta na forma de ureia, que é hidrolisada rapidamente e transformada para N-NH₄ (ROTZ al., 2005) e este é absorvido pelas plantas e microrganismos, ou retido na matéria orgânica.

Corroborando com os valores observados de N-NH₄ neste estudo (Figura 9 após a saída dos animais), Bortolli (2016), observou diferença significativa entre os manejos de altura de pasto após a pastagem de aveia preta, com maiores teores de N-NH₄ quando houve maior intensidade de pastejo (menor altura de pasto), ou seja, na Baixa Altura do pasto (9,97 mg kg⁻¹) em relação ao manejo de Alta Altura de pasto (6,76 mg kg⁻¹).

Do mesmo modo, após a utilização de pastagem de aveia-preta + azevém sob sistema de ILP em adubação de sistemas durante o inverno de 2014, Bernardon (2016) visualizou menores teores de N-NH₄ que os constatados no presente estudo (Figura 9 após a saída dos animais), por vez, Bernardon (2016) observou diferença apenas entre os tratamentos de adubação nitrogenada, com menores valores de N-NH₄ nas parcelas que receberam adubação nitrogenada na pastagem (8,33 mg kg⁻¹) em relação as que não receberam (10,23 mg kg⁻¹).

Entrando na Fase II de avaliação do experimento, cultivo de milho silagem. Na amostragem de solo realizada dezoito dias após a aplicação de N em cobertura no milho silagem, apenas nas parcelas que não receberam adubação

nitrogenada no azevém (parcelas N-Adubação Grãos), constatou-se efeito da interação tripla Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto x Profundidade de Amostragem do solo sobre os teores de N-NH₄ (P<0,0018) (Anova anexo 19). No desdobramento da interação para N-NH₄ (Figura 9 após a adubação de N no milho silagem) houve a fixação do fator Altura de Pasto (Anova desdobramento anexo 21 e 22).

O comportamento do N-NH₄ foi similar para ambas às alturas de pasto. Contudo, contrariamente ao esperado, não se constatou um maior teor de N-NH₄ nas parcelas que receberam adubação nitrogenada em cobertura no milho silagem no estádio V5, há 19 dias antes desta amostragem de solos (N-Adubação Grãos), sendo que os valores foram similares às parcelas que não receberam adubação nitrogenada em cobertura no milho silagem (N-Adubação Pastagem), para as duas Alturas de Pasto (Figura 9 após adubação de N no milho). Esse resultado demonstra o efeito residual do N aplicado no perfilhamento da pastagem contribuindo com os teores de N mineral no solo, uma vez que, a aplicação de nitrogênio proporciona maior produção de forragem, maior produção de perfilhos por planta e melhora a qualidade da pastagem por proporcionar um aumento na percentagem de folhas (CASSOL et al., 2011), o que influencia na decomposição dos resíduos mais rapidamente no ciclo da cultura subsequente.

Mesmo não sendo visualizada diferença significativa entre o Tempo de Adubação de N para os teores N-NH₄ nas parcelas manejadas em Alta Altura de pasto (Figura 9 após adubação de N milho silagem), é possível observar que a média do teor de N-NH₄ na camada de 0-5 cm foi maior nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada em cobertura no milho silagem (N-Adubação Pastagem / 32,85 mg kg⁻¹). Fato que pode ser justificado pela maior produção de forragem e de resíduo remanescente do azevém nas parcelas N-Adubação Pastagem e manejadas em Alta Altura do pasto (3.832,36 e 4.263,44 kg ha⁻¹ de MS, respectivamente) (Anexo 53), resultando em maior N-NH₄ liberado via decomposição por um período maior de tempo devido a quantidade de MS residual produzida. Uma vez que, Bortolli (2016) observou maior tempo de meia vida do compartimento A, prontamente decomponível, de resíduos de aveia preta manejados em Alta Altura de pasto em relação a Baixa Altura (133 dias e 70 dias, respectivamente).

Para a segunda amostragem de solo na fase II, um dia após a colheita do milho silagem (24/01/2016), observou-se efeito da interação tripla de Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto x Profundidade de Amostragem de solo sobre os teores de N-NH₄ (P<0,0073) (Anova anexo 25). Os teores de N-NH₄ reduziram após o cultivo de milho para silagem, estando próximos aos teores da coleta após a colheita da soja (Figura 9). Fato que indica a alta absorção de nutrientes do solo, principalmente nitrogênio, pelo cultivo de grãos e/ou de milho silagem de planta inteira, como foi o caso. Uma vez que, esse N pode estar imobilizado temporariamente na microbiota do solo e nos resíduos vegetais.

No desdobramento da interação tripla para os teores de N-NH₄ nas Alturas de Pasto (Anova desdobramento anexo 27 e 28), houve o efeito isolado de Profundidade de Amostragem do solo e do Tempo de Adubação de N para a Alta Altura de pasto. O comportamento do N-NH₄ nas parcelas manejadas em Alta Altura de pasto foi semelhante entre as profundidades no perfil do solo, com uma redução na camada de 5-10 cm (Figura 9 após a colheita do Milho silagem), não apresentando interação com o Tempo de Adubação de N.

Quando as parcelas foram manejadas em Alta Altura de pasto, contrariamente ao esperado, as parcelas que receberam adubação nitrogenada na pastagem de azevém (N-Adubação Pastagem), 243 dias antes desta amostragem de solos, apresentaram maiores teores de N-NH₄ (17,38 mg kg⁻¹) em relação as parcelas que receberam N em cobertura no cultivo de milho (N-Adubação Grãos = (14,68 mg kg⁻¹), 87 dias antes desta amostragem de solos (Tabela 3). Desse modo, confirma-se a contribuição do N residual da adubação nitrogenada ocorrida no período da pastagem (N-Adubação Pastagem) em conjunto com o manejo das parcelas a Alta Altura de pasto.

Tabela 2 – Teor de N-amônio (N-NH₄⁺) mg kg⁻¹, um dia após a colheita do milho silagem verão 2015/2016, nas parcelas Alta Altura de pasto em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos), final Fase II. UTFPR, Pato Branco, 2018.

Tempo de Adubação N	N-NH ₄
	----- mg kg ⁻¹ -----
N-Adubação Grãos	14,68 B
N-Adubação Pastagem	17,38 A

Médias comparadas pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. CV geral (N-NH₄) = 38,66% Letras maiúscula na coluna diferente entre si à 5% de significância.

Uma vez que, esse resultado retrata o maior aporte de N no solo provindo da decomposição mais tardia ao longo do cultivo do milho dos resíduos da pastagem nas parcelas manejadas em Alta Altura de pasto e que receberam adubação nitrogenada em cobertura no azevém (N-Adubação Pastagem), devido a maior quantidade de matéria seca, parcelas essas que apresentavam maior quantidade de palhada residual sobre o solo ($3.832,36 \text{ kg ha}^{-1}$ de MS) em relação as parcelas N-Adubação Grãos ($3.010,1 \text{ kg ha}^{-1}$ MS). Ou seja, a ciclagem de nutrientes proporciona o efeito residual do N da fase de pastejo para a cultura subsequente do mesmo modo que encontrado em outros trabalhos (ASSMANN et al., 2003; SANDINI et al., 2011).

A adubação de sistema proporciona maior produção de forragem (kg de MS ha^{-1}) durante o período de pastejo, em conjunto com o manejo da Altura de Pasto (Alta Altura de Pasto) pode contribuir com o maior aporte de resíduos remanescentes de azevém sobre o solo. Uma vez que, esses resíduos serão decompostos por longo período de tempo (durante os próximos cultivos). Assim, enfatiza-se que o aporte de biomassa residual de azevém no manejo de Alta Altura ($4.263,44 \text{ kg ha}^{-1}$ MS) contribuiu com os teores de N no solo ao longo do cultivo do milho (Tabela 3), em relação à Baixa Altura de pasto ($2.278,02 \text{ kg ha}^{-1}$ MS) que pela menor quantidade de resíduos pode ter uma mineralização mais rápida do N, além do maior aporte de esterco dos animais devido maior quantidade carga animal nessas parcelas.

Todavia, foi observada uma similaridade dos teores N-NH_4 entre os tratamentos de Tempo de Adubação de N em profundidade no perfil do solo (Figura 9), podendo ser o retrato da constante decomposição do sistema radicular das plantas cultivadas do sistema de ILP. Ou seja, ocorre liberação constante de N-NH_4 de compostos orgânicos do tecido vegetal que está sobre o solo e em camadas superficiais. Por isso, torna-se importante a contribuição da adubação de sistemas que proporciona uma melhor qualidade da pastagem, conseqüentemente, maior produção de matéria seca, de sistema radicular, proporcionando uma melhor decomposição desses resíduos ao longo do sistema. Isto é observado na semelhança do comportamento do N-NH_4 entre cada data de amostragem do solo

(Figura 9).

4.1.2 Comportamento de N-Mineral no solo na forma de N-Nitrato

Na fase I, pastagem de azevém (inverno 2015), a primeira data de avaliação (16/04/2015) de nitrogênio mineral no solo, constatou-se efeito significativo de interação tripla Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto x Profundidade de Amostragem de solo sobre os teores N-NO₃ (P<0,000) (Anova anexo 2). No desdobramento da interação N-NO₃ (Figura 10 após a colheita da soja) houve o isolamento do fator Altura de Pasto (Anova desdobramento anexo 5 e 6).

Na avaliação no solo após o cultivo da soja, os menores valores de N-NO₃ foram observados nas parcelas pastejadas à Alta Altura de Pasto e que receberam adubação nitrogenada na pastagem de aveia preta + azevém (N-Adubação Pastagem) no inverno de 2014, cultura antecessora ao cultivo da soja (Figura 10 após a colheita da soja). Ainda, na camada de 5-10 cm houve um pico do teor de N-NO₃ nas parcelas N-Adubação Grãos, resultado não esperado, visto que os teores são maiores que o observado na camada de 0-5 cm, o que não é comum ao comportamento de N no solo. Porém, esse resultado pode ser associado à maior ocorrência de simbiose na parcela N-Adubação Grãos (Figura 10 após a colheita da soja). Pois, logo pode ter ocorrido uma maior concentração de raízes de soja com nódulos de rizóbium, e a partir disso, a senescência dos nódulos contribuiu aos maiores teores de N-NO₃ na camada de 5-10 cm.

No entanto, quando a pastagem de azevém cultivada posterior à soja foi manejada em Baixa Altura de Pasto, com maior carga animal nessa parcela, não foi observado efeito do tratamento Tempo de Adubação de N sobre os teores de N-NO₃ (Figura 10 após a colheita da soja). Por vez, o grande aporte de urina e fezes podem ter elevado os teores de nutrientes no solo nas parcelas manejadas em Baixa Altura de Pasto podendo ter ofuscado o tratamento Tempo de Adubação de N.

Na coleta de solo dez dias após a aplicação de N em cobertura na pastagem de azevém no inverno de 2015 (04/06/2015), constatou-se a interação entre os fatores Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto x Profundidade de

Amostragem de solo sobre os teores de N-NO₃ (P<0,00001) (Anova anexo 8). Para o desdobramento da interação foi fixado o fator Altura de Pasto (Figura 10 após adubação de N azevém) (Anova desdobramento anexo 11 e 12).

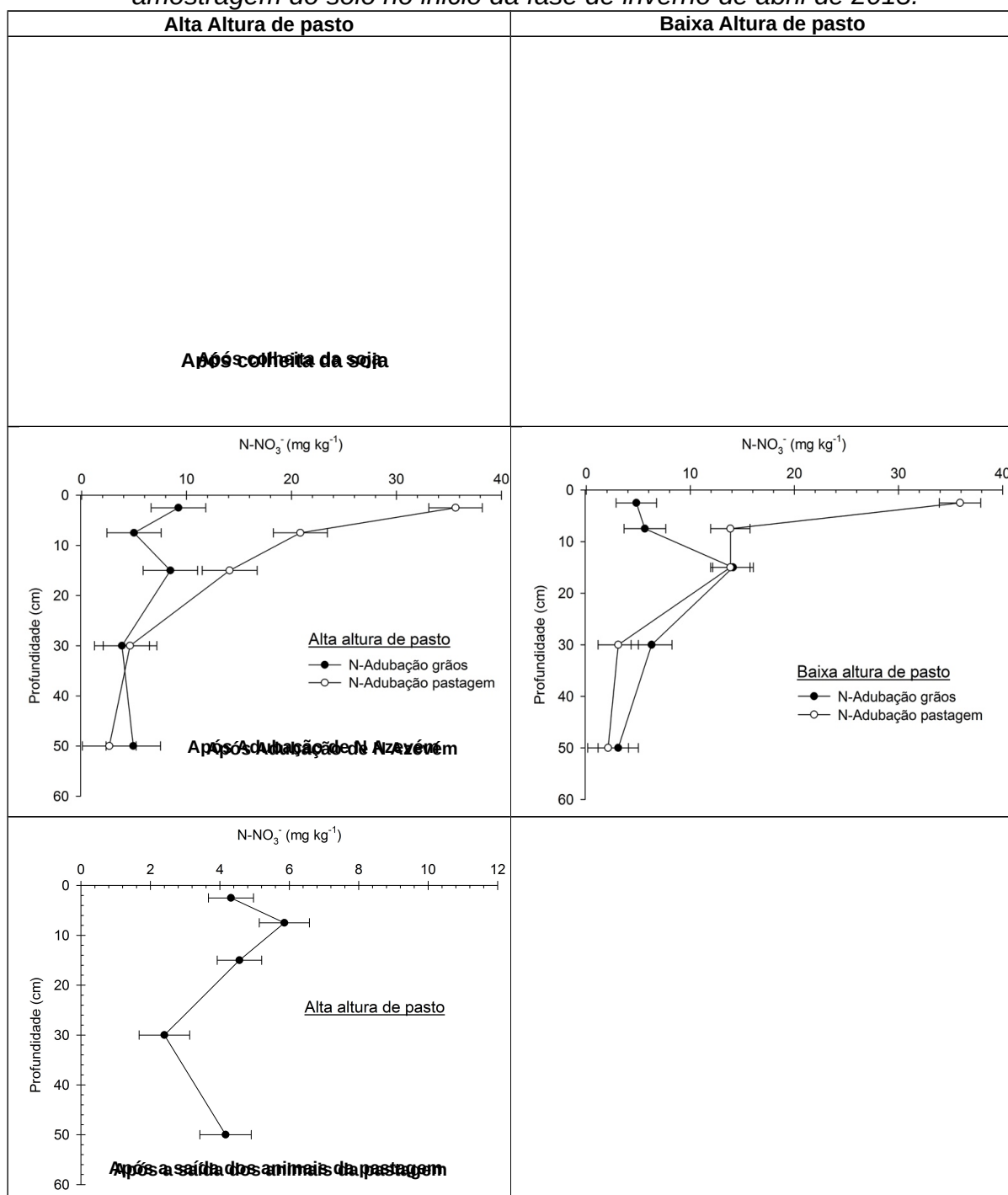
No comportamento de N-NO₃ no perfil do solo constatou-se o efeito da adubação nitrogenada em cobertura no azevém sobre os teores de N-NO₃ no solo. Visto que, os maiores teores de N-NO₃ foram observados nas parcelas que receberam N em cobertura (N-Adubação Pastagem) para ambas as Alturas de Pasto (Figura 10 após a adubação de N azevém), corroborando com os resultados similares observados por Bernardon (2016). Essa diferença era esperada entre os tratamentos de Tempo de Adubação de N devido à aplicação de N (fonte ureia) em cobertura na pastagem somente nas parcelas N-Adubação Pastagem. Uma vez que, os maiores teores de N-NO₃ ocorrem pelo fato da rápida transformação da ureia [CO(NH₂)₂] em N-NH₄ e, posteriormente em N-NO₃ pelos microrganismos do solo, quando em condições ambientais adequadas.

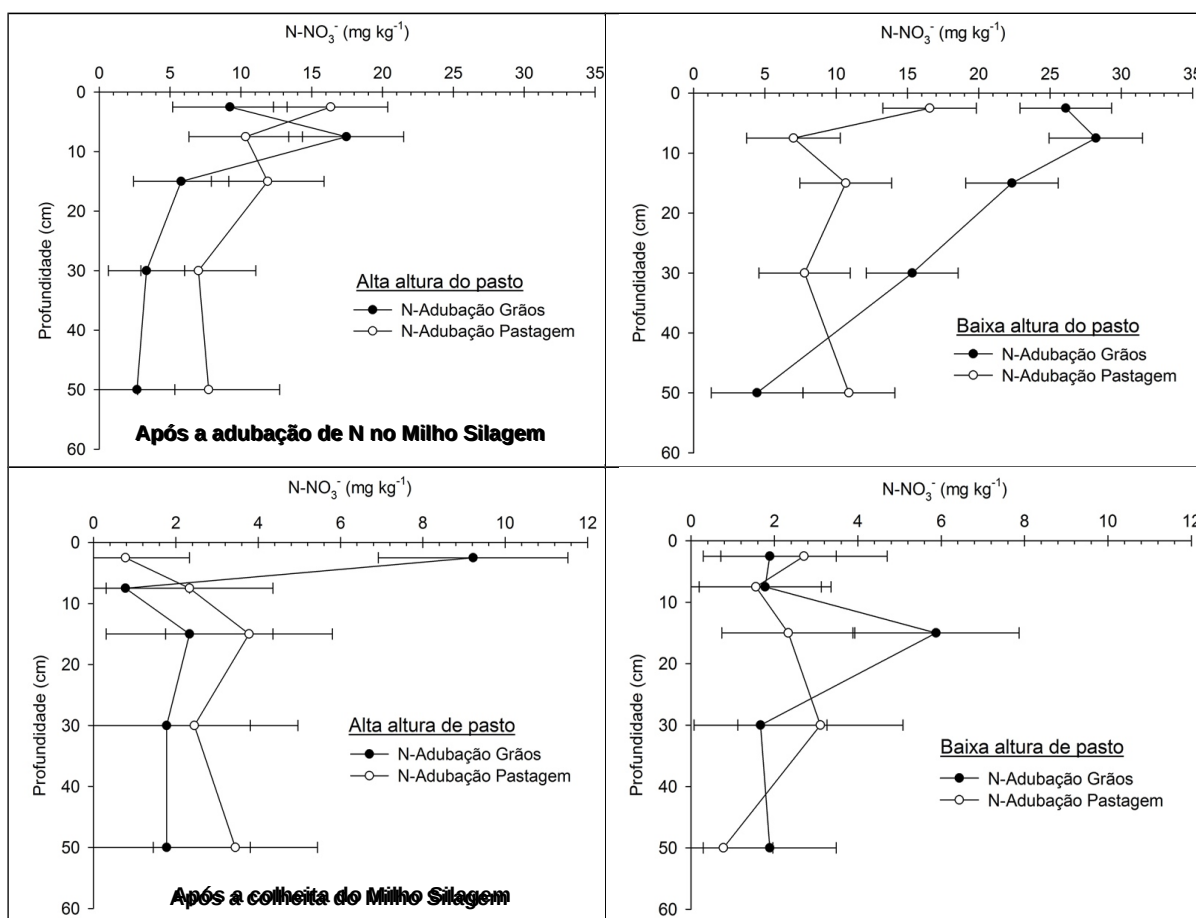
Todavia, foi observado que os teores de N-NO₃ na camada de 0-5 cm do solo nas parcelas N-Adubação Pastagem (Figura 10 após a adubação de N azevém) são superiores a 30 mg kg⁻¹, retratando a rápida nitrificação do amônio pela microbiota do solo disponibilizando N para as plantas de azevém. Por vez, a alta concentração de N-NO₃ na camada de 0-5 m pode originar uma possível perda de N para camadas sub superficiais, pelo fato de haver baixa CTA (capacidade de troca de ânions) nessa camada em Latossolos, se não houver adequado teor de matéria orgânica do solo para reter os elementos. Contudo, Woods et al. (2017) afirmam que as plantas de azevém possuem alta capacidade de absorção de N, oferecendo benefícios na redução das perdas pelo processo de lixiviação.

Por outro lado, as parcelas que não receberam adubação nitrogenada em cobertura no perfilhamento do azevém no inverno de 2015 (N-Adubação Grãos), apresentaram teores de N-NO₃ abaixo de 15 mg kg⁻¹ na camada superficial do solo (0-20 cm) (Figura 10 após a adubação de N azevém). Esses valores são reflexos do não recebimento de adubação nitrogenada em cobertura nas parcelas N-Adubação Grãos no cultivo da pastagem, uma vez que, os baixos valores de N-NO₃ podem acarretar em problemas no crescimento e desenvolvimento da pastagem durante todo o período de pastejo, bem como, de toda produção animal e ciclagem de

nutrientes.

Figura 10 – Teor de N-Nitrato após o cultivo de soja, a adubação de N no azevém, a saída dos animais da pastagem, a adubação de N no milho silagem e a colheita do milho silagem, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e do manejo da Altura de Pasto na pastagem cultivada no inverno de 2014 (Alta Altura e Baixa Altura), amostragem do solo no início da fase de inverno de abril de 2015.





Médias comparadas pelo teste LSD a 5% de probabilidade CV geral após a colheita da soja ($N-NO_3^-$) = 124,88%; CV geral após a adubação de N azevém ($N-NO_3^-$) = 93,43%; CV geral após saída dos animais da pastagem ($N-NO_3^-$) = 47,31%; CV geral após adubação de N no milho silagem ($N-NO_3^-$) = 61,46% e CV geral após colheita do milho silagem ($N-NO_3^-$) = 92,69%.

Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos; Alta Altura de Pasto: manejo da pastagem à 25 cm de altura; Baixa Altura de Pasto: manejo da pastagem à 10 cm de altura.

Como a pastagem de azevém foi cultivada após a soja, os menores teores de $N-NO_3^-$ no perfil de solo avaliado podem também ser resultantes de uma rápida liberação de N das folhas de soja anterior ao início do cultivo do azevém. Visto que, Assmann (2013) em avaliação de decomposição de resíduos em sistema ILP, observou meia vida de 68 dias para as folhas de soja, logo liberando N para o solo, estando disponível para as plantas e a microbiota do solo. Além disso, a soja apresenta altos teores de lignina em seu caule, o que interfere na decomposição dos resíduos e disponibilização de N no solo (PALM; SANCHES, 1991).

Ainda, a quantidade de N residual da cultura da soja não seria suficiente para sustentar elevadas produções de forragem, mesmo apresentando menor relação C/N dos seus resíduos quando comparados a cultura do milho (BARTH NETO et al., 2013).

Além disso, não foi constatado aumento dos teores de N-NO_3 em profundidade no perfil do solo em ambos os tratamentos de Altura de Pasto e Tempo de Adubação de N após a aplicação de 200 kg ha^{-1} de N de uma única vez na pastagem de azevém no inverno de 2015. Dessa forma, pode-se inferir que nesse sistema não ocorre perda por lixiviação de N-NO_3 no perfil do solo. Uma vez que, há intensa competição por N no solo entre plantas e entre plantas e microrganismos, o que dificulta as perdas por lixiviação (GROFFMAN, 2000). Visto que, pode ocorrer maior competição por nutrientes entre plantas submetidas ao pastejo, devido a maior desfolha das mesmas, tendo maior necessidade de absorção de nutrientes para a constante rebrota (Figura 11).

Figura 11 – Sistema radicular de azevém Winter Star no período de inverno de 2016, manejado a Alta Altura do Pasto e submetido a 200 kg ha^{-1} de N em cobertura no perfilhamento, em única aplicação.



Fonte: Lima (2018).

Do mesmo modo que no presente estudo, Sartor et al. (2011), avaliando o comportamento de N-NO_3 na camada de 0-40 cm no solo em pastagem

de *Braquiaria plantagineas* submetida a doses de N, não observaram aumento dos teores de N-NO₃ em profundidade superiores a 10 cm, quando foi aplicado 200 kg de ha⁻¹ de N em cobertura. Os autores inferem que no experimento houve ausência de problemas com lixiviação de N-NO₃ devido a absorção de N pela planta forrageira para produção de matéria seca, uma vez que, a maioria das raízes (80%) encontra-se concentrada na camada superficial do solo (PRIMAVESI et al., 2001), como é visualizado na Figura 11.

Além disso, Townsend (2011) relatam que em sistemas pastoris bem manejados as perdas que podem vir a ocorrer não são expressivas, sem contar que o sistema radicular das plantas forrageiras é agressivo possibilitando absorção de N nas camadas mais profundas (MARTHA JÚNIOR et al., 2004).

Ainda na Fase I do experimento, na amostragem de solo após dois dias da saída dos animais (07/09/2015), constatou-se influência da interação tripla Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto x Profundidade de Amostragem do solo sobre os teores de N-NO₃ (P<0,000) do solo (Anova anexo 14). No desdobramento da interação para N-NO₃ (Figura 10 após a saída dos animais) houve a fixação do fator Altura de Pasto (Anova desdobramento anexo 17 e 18).

Para os teores de N-NO₃ após o final do período de pastejo do inverno de 2015, constatou-se uma redução dos teores de N-NO₃ no solo (Figura 10 após a saída dos animais) em comparação aos teores após a adubação nitrogenada no perfilhamento do azevém (Figura 10 após a adubação de N azevém). Tal fato é reflexo de que parte do N mineral disponibilizado as plantas durante o período de pastejo foi absorvido pelo azevém ou imobilizado pela microbiota do solo. Visto que, constatou-se uma produção média de 3.345,73 kg de MS ha⁻¹ de palhada residual de azevém sobre o solo, apresentando maior produção de palhada quando a adubação nitrogenada foi aplicada em cobertura na pastagem (N-Adubação Pastagem / 3.831,36 kg MS ha⁻¹) em relação ao manejo N-Adubação Grãos (3.010,1 kg MS ha⁻¹). Já para o manejo de Altura de Pasto, a Alta Altura de pasto foi a que proporcionou maior produção de biomassa residual (4.263,44 kg MS ha⁻¹) em relação ao manejo Baixa Altura de pasto (2.278,02 kg MS ha⁻¹).

Somado a quantidade de resíduos depositados sobre o solo, está o momento da amostragem do solo, que foi apenas dois dias após a saída dos

animais da pastagem. Assim, a palhada residual estaria entrando em processo de decomposição quando foi efetuada a amostragem de solo, influenciando diretamente nos teores de N-NO₃ no solo.

Além disso, quando a pastagem recebeu adubação nitrogenada em cobertura e teve maior pressão de pastejo (Baixa Altura de pasto) constataram-se maiores teores de N-NO₃ em relação às parcelas que não receberam adubação de N (N-Adubação Grãos) manejadas na mesma altura de pasto (Figura 10 após a saída dos animais). Por sua vez, o manejo de intensidades da pastagem de azevém e o fornecimento ou não de adubação nitrogenada em cobertura influenciam na produção de biomassa do azevém, bem como, no processo de decomposição da palhada residual sobre o solo.

Visto que, Bortolli (2016) observou resíduos de pastagem de aveia preta que apresentaram menor tempo de meia vida no compartimento prontamente decomponível quando manejados em Baixa Altura de pasto em relação a Alta Altura (70 e 133 dias, respectivamente), decompondo em maior velocidade na menor altura e liberando rapidamente o N dos resíduos para o solo. Ainda, o autor ressalta que resíduos de milho pastejados após a aveia preta apresentaram maior quantidade de material prontamente decomponível quando a pastagem recebeu adubação nitrogenada em cobertura. Bem como, um tempo de meia vida menor (9 dias) em relação aos resíduos de milho cultivado sob as parcelas que não receberam adubação nitrogenada na pastagem (23 dias/N-Adubação Grãos), ressaltando a maior nutrição da cultura do milho nas parcelas que a aveia preta recebeu adubação nitrogenada (N-Adubação Pastagem).

A diferença no comportamento da liberação de N nas diferentes pressões de pastejo pode ser explicado pela constante rebrota que leva ao maior perfilhamento com folhas e caules mais jovens (SEMMARTIN et al., 2008), por isso, o pastejo moderado pode acelerar as taxas de decomposição e liberação de N no pasto de azevém. Além disso, o manejo de adubação nitrogenada em cobertura na pastagem também influencia e acelera a decomposição dos resíduos após o pastejo, uma vez que, aumenta o nível de proteína bruta e conseqüentemente o teor de N na planta, proporcionando melhor qualidade da pastagem, bem como, menor relação C:N (CASSOL et al., 2011). Assim como, Bortolli (2016) observou que o

resíduo do milho cultivado após a pastagem de aveia preta apresentou maior quantidade de material no compartimento prontamente decomponível quando a pastagem recebeu adubação nitrogenada e foi manejada em baixa altura. Por sua vez, evidenciando o efeito residual do N da pastagem de aveia preta que apresentou resíduos de melhor qualidade (maior relação folha/colmo) quando recebeu adubação nitrogenada em relação às parcelas que não receberam N durante o pastejo.

Portanto, grande parte do N disponibilizado no solo durante o período de pastejo ainda não havia retornado ao solo no momento da coleta, podendo estar imobilizado nos tecidos vegetais do azevém que está sob o solo, ressaltando os níveis baixos de N-NO₃. Além disso, pode ter ocorrido uma baixa transformação de N-NH₄ para N-NO₃ (processo de nitrificação) ao final do período de pastejo. Uma vez que, ambientes com baixo pH, baixa T° e alta umidade, além de acúmulo de compostos fenólicos e a anaerobiose podem inibir o processo de nitrificação (ESPÍNDOLA et al., 2001).

Por outro lado, as parcelas que foram manejadas em Alta Altura de pasto, ou seja, com menor quantidade de animais por área, apresentaram apenas efeito da Profundidade de amostragem do solo com menores teores N-NO₃ em relação a Baixa Altura de pasto (Figura 10 após a saída dos animais), destacando-se a camada de 20-40 cm com 2,40 mg kg⁻¹ de N-NO₃. Esses valores podem ter sido influenciados pela maior absorção de N na forma preferencial pelas plantas de azevém (N-NO₃), em que o sistema radicular atingiu essas profundidades.

Já nas parcelas manejadas em Baixa Altura de pasto, maiores teores N-NO₃ foram observados nas parcelas que receberam adubação nitrogenada durante o período de pastejo (N-adubação Pastagem / 6,98 mg kg⁻¹) em contraste as parcelas que não receberam adubação nitrogenada em cobertura na passagem (N-Adubação Grãos / 2,04 mg kg⁻¹) (Figura 10 após a saída dos animais). Este fato confirma o benefício da adubação nitrogenada para a produção de forragem, bem como, do residual presente no solo da mesma até o final do período de pastejo. Além disso, o estímulo ao perfilhamento pela adubação de N em cobertura na pastagem (N-Adubação Pastagem) e ao crescimento do sistema radicular provocado nas parcelas manejadas a Baixa Altura de Pasto, podem ter influenciado a manutenção de teores maiores de N-NO₃ nas camadas do solo até 10 cm em

relação ao manejo de Alta Atura de Pasto (Figura 1º após a saída dos animais).

Corroborando com os valores de N-NO₃ observados no presente estudo após a utilização da pastagem de azevém (Figura 10 após a saída dos animais), Bortolli (2016) também observou maiores teores de N-NO₃ nas parcelas manejadas em Baixa Altura de pasto ao final do pastejo de aveia preta no inverno de 2013, não apresentando diferenças entre o tratamento de Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos). Entretanto, os teores médios de N-NO₃ observados por Bortolli (2016) foram maiores que o do presente estudo (9,20 e 4,38 mg kg⁻¹)

Ainda, em avaliação dos teores de N-NO₃ ao final do pastejo de aveia-preta + azevém no inverno de 2014 no mesmo experimento, Bernardon (2016) constatou efeito apenas da Profundidade de Amostragem do solo sobre os teores de N-nitrato, enfatizando que os valores reduziram em todas as camadas avaliadas após a saída dos animais do pasto em relação à avaliação que a autora realizou após a adubação de N em cobertura no perfilhamento da aveia preta + azevém. A autora justifica tais resultados a imobilização do N mineral nos resíduos vegetais e na microbiota do solo.

Todavia, Sartor et al. (2011) em avaliação da eficiência do uso da adubação nitrogenada, recuperação e lixiviação de N em pastagem de capim-papuã manejado em duas intensidades de pastejo e três doses de adubação nitrogenada (0, 200 e 400 kg ha⁻¹ de N), observaram que na menor taxa de lotação animal (maior massa de forragem= 3.600 kg ha⁻¹ de MS) os teores de N-NO₃ foram menores que no tratamento com maior taxa de lotação animal (baixa massa de forragem= 2.000 kg ha⁻¹ de MS). Os autores enfatizam que no manejo de alta massa de forragem pode ter ocorrido maior taxa de imobilização de N no processo de mineralização da matéria orgânica, devido a maior massa de forragem e demanda de N pelo processo. Já na baixa massa de forragem ocorre maior taxa de lotação animal, e consequentemente maior deposição de esterco (urina e fezes animais), retornando maiores quantidade de N ao solo do que na maior massa de forragem (menor taxa de lotação animal) (SARTOR et al., 2011).

Em síntese, a adubação nitrogenada no perfilhamento da pastagem de azevém em conjunto com a maior intensidade de pastejo proporcionou uma

ciclagem mais rápida de N mineral no solo após a saída dos animais para o início do cultivo do milho silagem. Uma vez que, os resíduos vegetais provindos desse manejo podem decompor mais rápido devidos os maiores teores de N na planta provocados pela adubação nitrogenada, além da maior deposição de esterco dos animais proporcionando um ambiente rico para a microbiota do solo.

Entrando na Fase II de avaliação do experimento, cultivo de milho silagem, na amostragem de solo realizada dezoito dias após a aplicação de N em cobertura no milho silagem apenas nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada no azevém (parcelas N-Adubação Grãos), constatou-se efeito da interação tripla Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto x Profundidade de Amostragem do solo sobre o teor de $N-NO_3$ ($P < 0,0006$) (Anova anexo 20). No desdobramento da interação para $N-NO_3$ (Figura 10 após adubação de N milho Silagem), houve a fixação do fator Altura de Pasto (Anova desdobramento anexo 23 e 24).

Os teores de $N-NO_3$ no solo, amostrados após a adubação de cobertura no milho silagem (Figura 10 após a adubação de N milho silagem), na Fase II do experimento, foram maiores aos observados no final do pastejo de azevém, Fase I (Figura 10 após a saída dos animais). O aumento dos teores de $N-NO_3$ no solo pode ser resultante da ciclagem de nutrientes provinda da decomposição do material presente no compartimento prontamente decomponível dos resíduos da pastagem de azevém, além da contribuição da adubação nitrogenada aplicada apenas nas parcelas N-Adubação Grãos no milho silagem.

O aumento dos teores médios de $N-NO_3$ nas parcelas N-Adubação Pastagem nesta amostragem (Figura 10 após adubação de N milho silagem / $12,06 \text{ mg kg}^{-1}$) em relação à amostragem após a saída dos animais (Figura 10 após a saída dos animais / $4,41 \text{ mg kg}^{-1}$), retrata o maior aporte de N no solo provindo da ciclagem de nutrientes nesse tratamento ao longo do tempo. Ou seja, ocorre o efeito residual do N da fase de pastejo para a cultura subsequente do mesmo modo que encontrado em outros trabalhos (ASSMANN et al., 2003; SANDINI et al., 2011).

Ao contrário do que era esperado, foram observados maiores teores de $N-NO_3$ no solo nas parcelas que receberam adubação nitrogenada em cobertura no milho silagem, somente quando estas parcelas foram manejadas durante a fase de

pastejo à Baixa Altura de Pasto (Figura 10 após a adubação de N milho silagem). Como à aplicação de N em ambas as Alturas de pasto nas parcelas N-Adubação Grãos haviam ocorrido 19 dias antes da amostragem de solo e após aplicação houve condições climáticas adequadas para a hidrólise da ureia em amônio e a nitrificação do mesmo em nitrato (Figura 6); esperava-se que as parcelas manejadas em Alta Altura do pasto também apresentassem maiores teores de N-NO₃ após receber 200 kg ha⁻¹ de N, em única aplicação nas parcelas N-Adubação Grãos (Figura 10 após a adubação de N milho silagem).

Entretanto, as plantas de milho em seu estágio vegetativo inicial absorvem altas quantidades de nutrientes, quando disponíveis no solo, para definição de sua produção potencial e de seus componentes de rendimento. Diante disso, é possível que as parcelas N-Adubação Grãos manejadas à Alta Altura de pasto encontravam-se com baixos teores de N-NO₃ no solo no estágio V5, quando foi efetuado aplicação de N em cobertura no milho apenas nessas parcelas. Assim, com a aplicação de N (insumo 27-00-00, 50% na forma amoniacal e 50% na forma nítrica) apenas nas parcelas N-Adubação Grãos, no manejo de Alta Altura de pasto pode ter ocorrido uma competição entre plantas e plantas e microrganismos pelo N disponível no solo. Uma vez que, após a diluição no solo o N estaria prontamente disponível na forma amoniacal e nítrica.

Além disso, a microbiota do solo pode ter imobilizado N para decomposição dos resíduos da pastagem manejada em Alta Altura e que não recebeu adubação nitrogenada no inverno (N-Adubação Grãos), já que, a pastagem manejada nessas parcelas apresentaria uma baixa qualidade estrutural, ou seja, maior relação C:N que os demais tratamentos, além da influencia da quantidade de resíduos sobre o solo, em média 3.010,1 kg ha⁻¹ MS nas parcelas N-Adubação Grãos (Anexo 53).

Na pastagem manejada em Alta Altura (25 cm), com menor quantidade de animais por área, há menor corte e rebrota do pasto, ocasionando menor relação folha/colmo e maior quantidade de folhas velhas (senescentes), afetando logo a quantidade de celulose e lignina dos resíduos remanescentes e a sua decomposição. Visto que, Bortolli (2016) afirma que os resíduos remanescentes da pastagem de aveia preta manejada à Alta Altura e que não receberam adubação

nitrogenada em cobertura durante o inverno (fase pastagem), apresentam maior tempo de meia vida e menor quantidade de material no compartimento mais prontamente decomponível, evidenciando que houve uma menor nutrição da cultura do milho nesta situação. Ainda, Sanullah et al. (2010) relatam que resíduos vegetais mais velhos (senescentes) se decompõem mais lentamente em relação a resíduos mais jovens, devido apresentarem maiores quantidades de lignina e menor teor de açúcares solúveis e N.

Por outro lado, percebe-se que os teores de $N-NO_3$ reduzem com o aumento da profundidade no perfil do solo, com expressividade maior abaixo dos 30 cm (em média $7,66 \text{ mg kg}^{-1}$). Fato que demonstra o menor risco de perda de nitrato por lixiviação, mesmo aplicando uma dose de $200 \text{ kg de N ha}^{-1}$ em uma única aplicação (Figura 10). Uma vez que, com o aumento da profundidade do solo (abaixo de 20 cm) em solos de cargas variáveis, como os Latossolos, há a possibilidade de maior retenção de nitratos aos coloides do solo devido ao maior número de cargas positivas (CTA) e menor teor de matéria orgânica em relação à camada superficial do solo (0-20 cm) (DYNIA; CAMARGO, 1999).

Para a segunda amostragem de solo na fase II, um dia após a colheita do milho silagem (24/01/2016), observou-se efeito da interação tripla de Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto x Profundidade de Amostragem de solo sobre os teores de $N-NO_3$ ($P < 0,0000$) (Anova anexo 26). Houve desdobramento da interação tripla para os teores de $N-NO_3$ nas Alturas de Pasto (Anova desdobramento anexo 29 e 30),

Os teores médios de $N-NO_3$ após o cultivo de milho silagem foram baixos em ambas as Alturas de Pasto (Alta Altura= $2,86 \text{ mg kg}^{-1}$ e Baixa Altura= $2,35 \text{ mg kg}^{-1}$). Como a amostragem ocorreu um dia após a colheita do milho silagem, é possível que o N foi imobilizado na matéria seca do milho. Além disso, durante o período de colheita do milho silagem e de amostragem de solo não ocorreu precipitações (Figura 6) podendo o N-amônio não ter sido transformado em sua grande maioria na forma de N-nitrato.

Contudo, nas parcelas que receberam adubação nitrogenada em cobertura no milho silagem (N-Adubação Grãos) quando a pastagem foi manejada em Alta Altura de pasto, constataram-se maiores teores de $N-NO_3$ na camada de 0-5

cm em relação às parcelas N-Adubação Pastagem (Figura 10 após a colheita milho silagem). Esse resultado está relacionado com a decomposição lenta do resíduo da pastagem manejado em Alta Altura do pasto. Uma vez que, o resíduo nas parcelas N-Adubação Grãos pode apresentar uma maior relação C/N, menor qualidade, o que dificulta sua decomposição causando imobilização de N e conseqüentemente retardamento à disponibilização e transformações microbianas do N no solo.

A liberação de N do resíduo da pastagem é dependente da sua produção de matéria seca e da qualidade estrutural (ASSMANN et al., 2015), que proporcionada pela nutrição nitrogenada da planta, ou seja, a adubação nitrogenada. Por vez, os resíduos senescentes de plantas decompõem-se mais lentamente do que resíduos jovens, ou seja, os tecidos mais antigos apresentam maior teor de lignina e menor teor de N e de açúcar solúvel (SANAULLAH et al., 2010).

Em âmbito geral, foi observada baixas probabilidades de perdas de N-NO₃ em profundidade no perfil do solo (Figura 10), o que é visualizado pela redução dos teores de N-NO₃ com o aumento da profundidade do solo no perfil e pelos baixos valores de N-NO₃ visualizados na camada de 40-60 cm em todas as amostragens de solo efetuadas na Fase I e II do experimento.

4.1.3 Comportamento de N-Mineral no solo após a adubação de N em cobertura do feijoeiro em safrinha

Na fase III, cultivo de feijoeiro em safrinha no verão 2016, houve uma modificação no delineamento experimental em relação à Fase I (pastagem) e II (milho silagem) do experimento, foram acrescentadas doses crescentes de N que constituíram sub parcelas ao delineamento experimental, assim, consistindo em um esquema fatorial 2 x 2 x 4 x 5, com três repetições em blocos ao acaso (Figura 7). Contudo, mesmo com esse novo delineamento, ainda foi possível avaliar o efeito residual do fator Tempo de Adubação de N que foi aplicado a Fase I e II do experimento, bem como, o fator Altura de Pasto que foi conduzido apenas durante a Fase I. É importante salientar que as Doses crescentes de N foram aplicadas em ambas as parcelas do tratamento Tempo de Adubação de N no cultivo do feijoeiro,

ou seja, nas parcelas N-Adubação Grãos e N-Adubação Pastagem no estádio V4 do feijoeiro.

Na amostragem de quinze dias após a adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro (12/03/2016), constatou-se efeito da interação tripla de Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto x Profundidade de Amostragem do solo sobre os teores de N-NH₄ (P<0,0341) (Anova anexo 31). E para os teores de N-NO₃ observou-se efeito da interação de Tempo de Adubação de N x Altura de pasto (P<0,0285), bem como, interação tripla entre Tempo de Adubação N x Doses de N x Profundidade de Amostragem do solo (P<0,0087) (Anova anexo 32). No desdobramento da interação para N-NH₄ (Figura 12 A e B) houve a fixação do fator Altura de Pasto (Anova desdobramento anexo 33 e 34) e para N-NO₃ (Figura 13 e Figura 14 A e B) houve a fixação do fator Tempo de Adubação de N (Anova desdobramento anexo 35 e 36).

O comportamento de N-NH₄ no desdobramento da interação foi similar para ambas as Alturas de Pasto (Figura 12 A e B). Uma vez que, no manejo Baixa Altura de pasto não houve diferença significativa pelo teste de médias entre as profundidades do perfil do solo e o tempo de adubação de N (Figura 12 B).

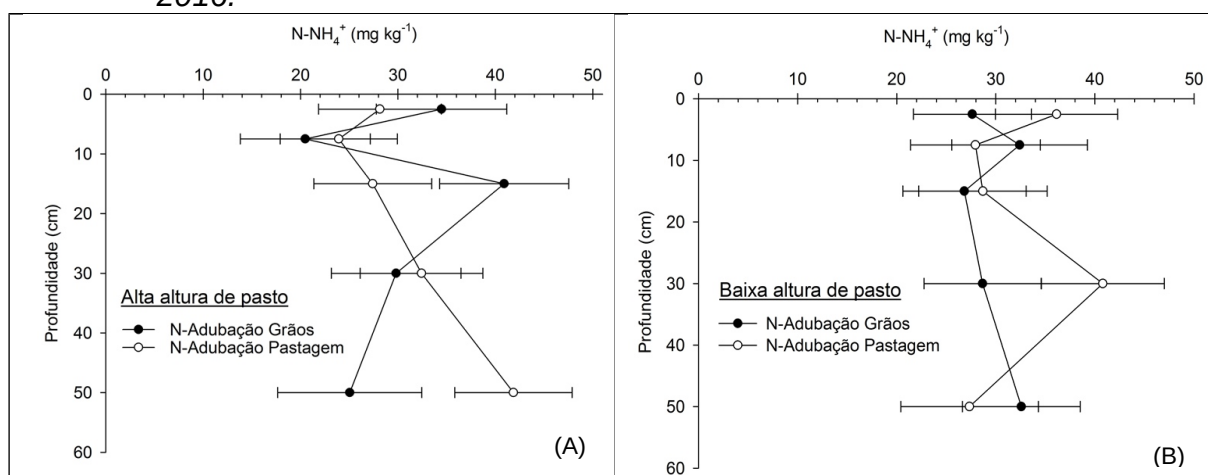
Contudo, no manejo de Alta Altura de pasto as parcelas N-Adubação Grãos apresentaram maiores teores de N-NH₄ na camada de 10-20 cm do solo em relação às parcelas N-Adubação Pastagem. Porém, o contrário ocorre na camada de 40-60 cm, onde as parcelas que receberam adubação nitrogenada apenas durante a pastagem de azevém no inverno de 2015 apresentaram os maiores teores de N-NH₄ (Figura 12 A).

É visto que, características intrínsecas ao solo, como o teor de argila, também são um grande aliado na manutenção do N ao solo. Uma vez que, o aumento do teor de argila do solo pode manter o N na forma de amônio adsorvido aos coloides do solo (AL-KANANI et al., 1991). Além disso, a decomposição do sistema radicular das plantas pode estar mantendo maiores teores de N-NH₄ em profundidade no solo.

Para o teor de N-nitrato em função do tempo de adubação nitrogenada e do manejo da altura de pasto é evidenciado que os valores foram menores nas parcelas manejadas em Alta e Baixa Altura de pasto e que não receberam a

adubação nitrogenada em cobertura no azevém, ou seja, as parcelas N-Adubação Grãos, em relação às parcelas N-Adubação Pastagem manejadas à Baixa Altura de pasto (Figura 13). Já o maior teor de N-NO₃ no solo foi observado quando a adubação nitrogenada foi realizada na pastagem de azevém conduzida em Baixa Altura de pasto. Ou seja, as parcelas N-Adubação Pastagem apresentaram um efeito residual do N aplicado 270 dias antes da aplicação de N na cultura do feijão quando manejadas em Baixa Altura de pasto.

Figura 12 – Teor de N-amônio (N-NH₄) (A; B) no solo mg kg⁻¹, quinze dias após a aplicação de doses crescentes de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro em safrinha, em função do tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação grãos) e das altas Alturas de pasto (Alta Altura e Baixa Altura), fase III verão de janeiro de 2016.

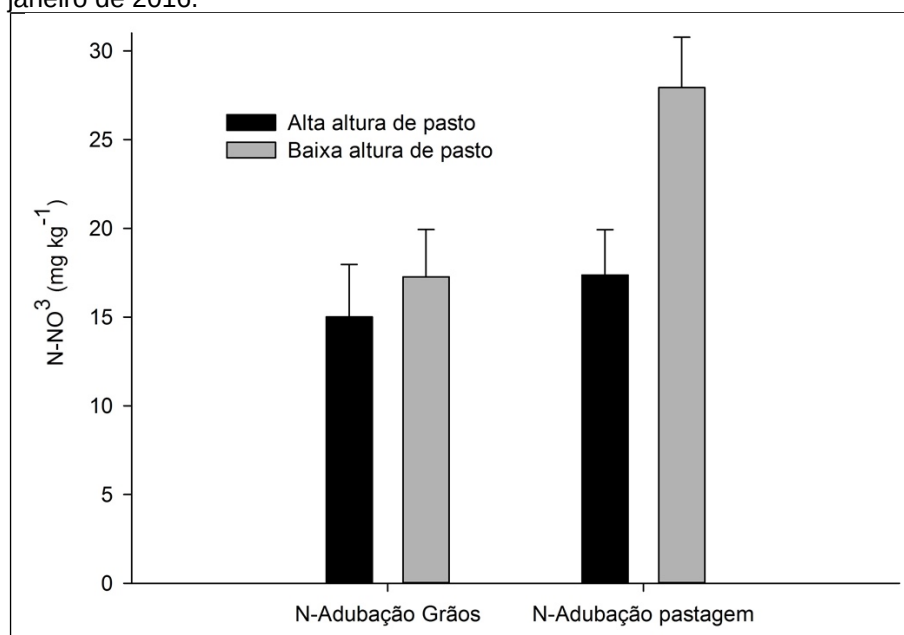


Médias comparadas pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. CV Alta Altura de pasto (N-NH₄) = 54,88% Baixa Altura de pasto (N-NH₄) = 49,83%. Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos; Alta Altura de Pasto: manejo da pastagem à 25 cm de altura; Baixa Altura de Pasto: manejo da pastagem à 10 cm de altura.

Este resultado pode estar atrelado ao fato que quando se aplicou N em cobertura na Fase I, pastagem de azevém (200 kg ha⁻¹ de N), e esta pastagem é conduzida em baixa altura, houve a promoção de maior deposição de fezes e urina, potencializando a entrada de N no sistema. O que, associado à adubação nitrogenada da pastagem e do feijoeiro, promoveu grande quantidade de N no sistema, maximizando a atividade microbiana pelo maior teor de N-NO₃ no perfil do solo na cultura do feijão. Uma vez que, as condições climáticas para aplicação de adubação nitrogenada foram favoráveis à hidrólise da ureia, ocorrendo precipitação logo após a adubação com N (Figura 8) podendo ter favorecido os maiores teores de

N-NO₃ nas parcelas Baixa Altura de pasto. Ainda, este fato pode ser justificado pela maior e rápida ciclagem de N ao longo dos ciclos de cultivos, favorecendo, neste tratamento, o maior teor de N-nitrato no solo.

Figura 13 – Teor de N-nitrato (N-NO₃) no solo mg kg⁻¹, quinze dias após a aplicação de doses crescentes de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro em safrinha, em função do Tempo de Adubação Nitrogenada e do manejo da altura do pasto, fase III verão de janeiro de 2016.



Médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV Tempo de Adubação de N (N-NO₃) = 87,83% e CV Altura de Pasto (N-NO₃) = 87,82%. Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos; Alta Altura de Pasto: manejo da pastagem à 25 cm de altura; Baixa Altura de Pasto: manejo da pastagem à 10 cm de altura.

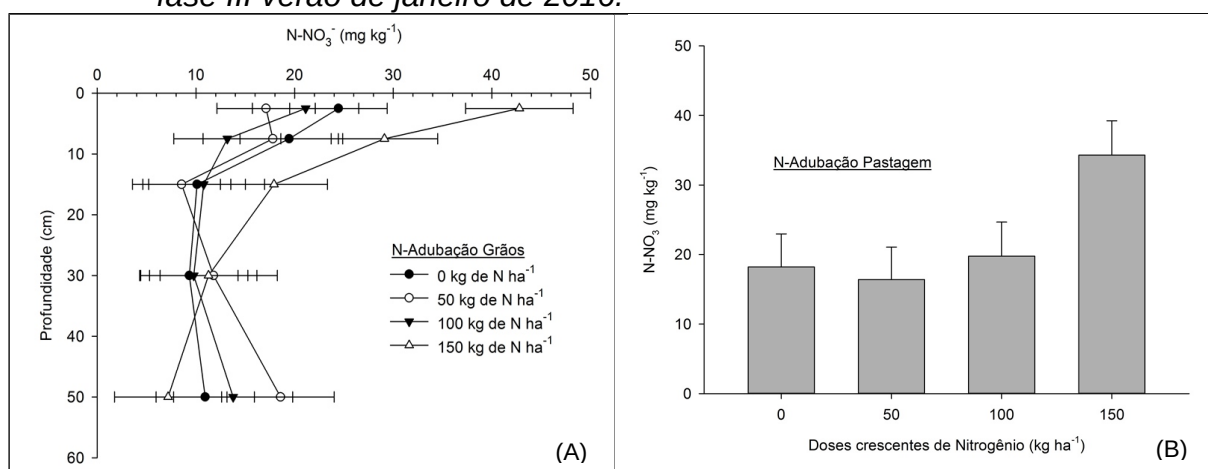
No desdobramento da interação entre Tempo de Adubação N x Doses de N x Profundidade de Amostragem do solo na parcela N-Adubação Grãos (Figura 14 A), foi observado influência mútua da Profundidade de Amostragem do solo e das Doses crescentes de N (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N) aplicadas nas parcelas N-Adubação Grãos durante o cultivo do feijoeiro em safrinha (Anova desdobramento anexo 36).

O maior teor de N-NO₃ foi observado na profundidade de 0 a 5 cm para a dose de 150 kg ha⁻¹ de N (43 mg kg⁻¹), decrescendo com a profundidade (Figura 14 A). Esse comportamento do N-NO₃ é esperado em função de que a adubação nitrogenada ocorreu em superfície e na forma de ureia ((NH₂)₂CO), que favorece o aumento das taxas de nitrificação, em virtude da temporária elevação do pH,

ocasionada pela ação da enzima urease que promove hidrólise dos fertilizantes nitrogenados a base de ureia (MORENO et al., 2007).

Esta condição é possível quando associada à atividade biológica, estimulada pela pastagem no inverno e a presença de animais. Quando da adubação nitrogenada no feijão, os microrganismos do solo, possivelmente, podem ter imobilizado o N nas demais Doses de N, reduzindo com isso o teor no solo e a possibilidade de decida no perfil. Este fato é importante porque a partir da morte dos microrganismos, ocorrerá à liberação do N com possibilidade de absorção pelas plantas, reduzindo a lixiviação do nitrato no perfil do solo, o que resultaria em perdas.

Figura 14 – Teor de N-nitrato (N-NO_3) no solo mg kg^{-1} , quinze dias após a aplicação de doses crescentes de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro em safrinha, em função do Tempo de Adubação de N, das Doses Crescentes de N aplicadas no feijoeiro e da Profundidade de Amostragem do solo, fase III verão de janeiro de 2016.



Médias comparadas pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. CV N-Adubação Grãos (N-NO_3) = 72,43% e CV N-Adubação Pastagem (N-NO_3) = 90,34%. Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos; Doses crescentes de N: 0, 50, 100 e 150 kg de ha^{-1} de N aplicados em ambos os níveis do tratamento Tempo de Adubação de N.

No entanto, no desdobramento da interação tripla nas parcelas N-Adubação Pastagem (Anova desdobramento anexo 35), constatou-se efeito isolado das doses crescentes de N (Figura 14 B) e da profundidade do solo avaliada (Figura 15). Evidencia-se que o teor de N-nitrato no solo apresentou comportamento semelhante nas doses 0; 50 e 100 kg N ha^{-1} (Figura 14 B). Por vez, as parcelas N-Adubação Pastagem receberam N em cobertura na pastagem e nas subparcelas

com a aplicação das doses crescentes de N em cobertura no feijoeiro, assim, esse comportamento demonstra o aporte significativo de N no sistema. Uma vez que, os teores de N-NO_3^- na subparcela que não recebeu N em cobertura no feijoeiro (Dose 0 kg ha^{-1} de N) não diferem das Doses 50 e 100 kg ha^{-1} de N aplicadas no feijoeiro no estádio V4, corroborando com o efeito residual de N da pastagem para o cultivo grãos no verão em safrinha.

Por outro lado, na dose de 150 kg ha^{-1} de N foi constatado o maior teor de N-NO_3^- nas parcelas N-Adubação Pastagem (Figura 14 B). Esse resultado evidencia que a maior dose de N utilizada proporcionou conjuntamente um fornecimento de N para imobilização pelos microrganismos e a disponibilização do N para a cultura, podendo manter um saldo positivo de N-NO_3^- no solo.

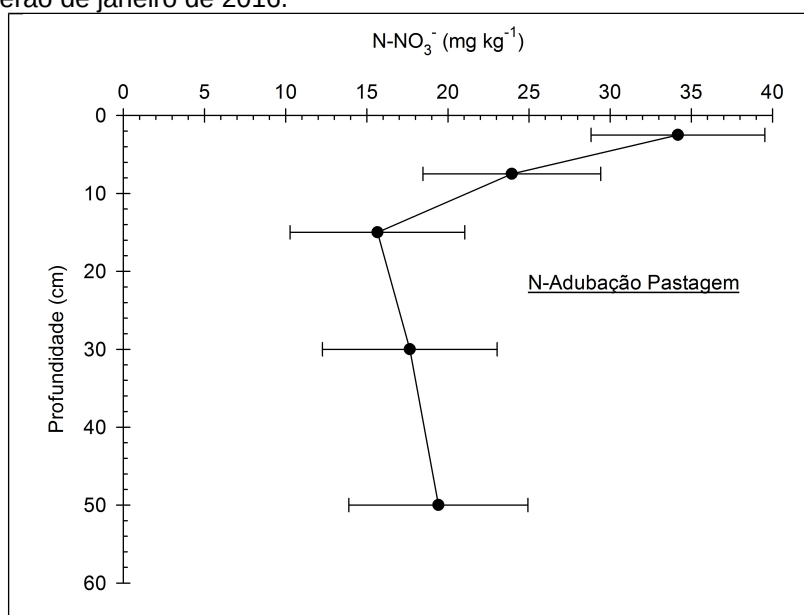
Nesse contexto, no efeito da Profundidade de Amostragem do solo na parcela N-Adubação Pastagem (Figura 15), foi observado maiores teores de N-nitrato na profundidade de 0 a 5 cm, 34 mg kg^{-1} , com redução no teor ao longo do perfil do solo, chegando a 18 mg kg^{-1} na profundidade de 40 a 60 cm (Figura 15). O comportamento do nitrato ao longo do perfil de solo até a profundidade de 60 cm permite evidenciar que não está ocorrendo lixiviação, o que pode indicar possível absorção pelas plantas de feijão ou imobilização na biomassa microbiana, corroborando para sua manutenção no solo, reduzindo as perdas.

Assmann (2001) afirma que controlar o processo de lixiviação é relevante, e para isso é fundamental a adoção do plantio direto e da Integração Lavoura-Pecuária (ILP) que promovem a entrada de carbono e N via resíduos vegetais, fezes e urina, maximizando a atividade biológica, com imobilização do N e redução das perdas, que posteriormente a mineralização, pode ser disponibilizado às plantas, promovendo a ciclagem.

A presença dos animais no inverno pastejando o azevém implica na deposição de fezes e urina, o que maximiza a entrada de carbono e N no sistema, estimulando a atividade biológica e com isso a ciclagem dos nutrientes. O pastejo leva ao consumo da parte aérea das plantas, o que estimula o crescimento radicular para retomada do crescimento e reposição do aparato fotossintético, maximizando a absorção e ciclagem dos nutrientes, mantendo o N no sistema ao longo do experimento, corroborando ao menor teor de N-nitrato em profundidade.

Quando da adubação nitrogenada na cultura do feijão, não foram constatados indícios de perdas de N por lixiviação de nitrato, o que pode estar atrelado aos fatores supracitados, mantendo o N no sistema por mais tempo e aumentando a possibilidade das plantas absorvê-lo, potencializando a ciclagem. O mesmo está ciclando em maior quantidade, favorecendo o sinergismo da microbiota do solo mantendo o nutriente por mais tempo no sistema, potencializando a mineralização, e com isso o melhor aproveitamento do N no sistema solo/planta/animal.

Figura 15 – Teor de N-nitrato (N-NO_3^-) no solo mg kg^{-1} , quinze dias após a aplicação de doses crescentes de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro em safrinha, em função da Profundidade de Amostragem no solo para as parcelas N-Adubação Pastagem, fase III verão de janeiro de 2016.



Médias comparadas pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. CV N-Adubação Pastagem (N-NO_3^-) = 90,34%. Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos; Doses crescentes de N: 0, 50, 100 e 150 kg de ha^{-1} de N aplicados em ambos os níveis do tratamento Tempo de Adubação de N.

O papel da microbiota do solo no sistema de ILP se dá por funcionar como um compartimento responsável pela liberação rápida de nutrientes, principalmente nitrogênio, às plantas pelo processo de mineralização dos resíduos e morte dos organismos, sendo uma fonte lábil e constante de às culturas (SILVA et al., 2010).

Em avaliação geral referente a íons medidos na solução do solo (NO_3^- , K^+ , Ca_2^+ e Mg_2^+) em um Latossolo, Oliveira (2007) relata que dos sistemas de

produção avaliados, a movimentação de íons em profundidade foi menor para aqueles sistemas manejados sob pastagem e rotação com integração Lavoura-Pecuária. Destacando tais resultados a maior eficiência desses sistemas na retenção dos íons no perfil do solo e no aproveitamento dos nutrientes na solução do solo, em função de fatores como: a existência de plantas vivas durante todo ano e a capacidade de manter o solo com maior qualidade, especialmente em termos de matéria orgânica e atividade biológica.

Nesse contexto, Piñeiro et al. (2006) relataram que em simulação dos potenciais impactos da integração Lavoura-Pecuária sobre o ciclo do C e do N a longo prazo, os animais em pastejo proporcionam alteração no ciclo geoquímico do N pela ciclagem rápida do mesmo via urina e esterco depositados sobre o solo, produzindo maiores efeitos a médio prazo, causado aumento do N inorgânico na solução do solo. Ainda, em locais menos férteis a disponibilidade de N é capitalizada pelas plantas e/ou armazenada no solo em grupos orgânicos os estoques de matéria orgânica. Inicialmente o pastejo e a introdução de animais propiciam um ambiente rico em N para plantas e microrganismos, desse modo, também pode ocorrer mineralização do C orgânico presente no solo, porém, ao longo do tempo de manejo no sistema de ILP essa mineralização tende a estabilizar (PIÑEIRO et al., 2006).

Portanto, em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária evidencia-se que as perdas de nutrientes, inclusive os considerados móveis no perfil do solo em função de suas características químicas, podem ser menores. Uma vez que, a sequência de rotação de culturas entre pastagens e grãos, sem intervalo entre cultivos, proporciona maior aproveitamento do N, principalmente na forma de nitrato, reduzindo acentuadamente sua lixiviação para águas subterrâneas, independente do uso de fertilização nitrogenada (KUNRATH et al., 2015).

Durante o pastejo no inverno a composição da espécie forrageira torna-se importante para redução de perdas de N-NO_3^- provocadas pelo processo de lixiviação. Uma vez que, a pastagem de azevém apresenta altas taxas de absorção de N, principalmente devido maior atividade durante o inverno, o que contribui para menores perdas de N-NO_3^- no solo abaixo do seu sistema radicular, provindo da urina e esterco, bem como fertilização (MALCOLM et al., 2014). Ou seja, a maior

taxa de crescimento da planta, de produção de matéria seca e atividade metabólica da raiz proporcionam a maior absorção do N, tendo maior importância diante da arquitetura da raiz da planta, como afirmado por Malcolm et al. (2014), em que as taxas de absorção de N mantêm-se altas mesmo quando há maior proporção do sistema radicular das plantas de azevém na camada de 0-40 cm.

Enfim, os sistemas de ILP de longa duração que promovem o aporte de resíduos vegetais e plantas vegetando durante todo o ano, com a presença constante dos animais favorecendo a entrada de carbono e de N, contribuem para maior atividade biológica, potencializando a ciclagem dos nutrientes e reduzindo potenciais perdas.

4.1.4 Comportamento do Fósforo no solo

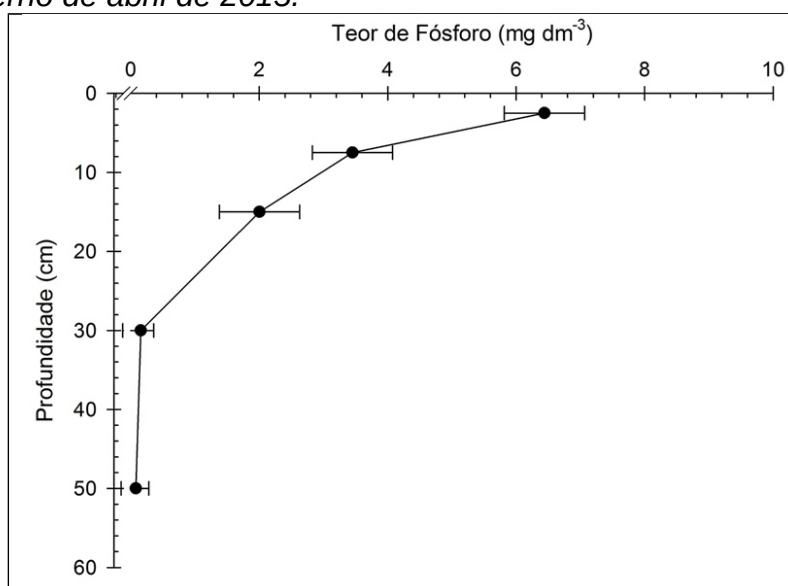
Na avaliação do fósforo disponível no solo após a colheita da soja (16/04/2015), início da fase I, pastagem de azevém (inverno 2015), constatou-se apenas efeito significativo para a Profundidade de Amostragem do solo ($P < 0,000$) (Anova anexo 13). Contudo, nessa amostragem na fase de transição entre lavoura e pecuária, observou-se teores baixos de fósforo desde a camada superficial até 60 cm no perfil do solo ($6,44-0,08 \text{ mg dm}^{-3}$) (Figura 16).

É importante salientar que anteriormente ao plantio da soja em novembro de 2014, a amostragem de solo na camada de 0-20 cm apresentou $13,21 \text{ mg dm}^{-3}$. Além disso, foi adicionada a linha de semeadura da soja 214 kg ha^{-1} de fosfato monoamônico (MAP) no dia 28/11/2014, entorno de 130 kg ha^{-1} de P_2O_5 equivalente a 56 kg ha^{-1} de P. Todavia, essa adubação fosfatada supriu as necessidades da cultura da soja, que atingiu uma produtividade média de $3819,75 \text{ kg ha}^{-1}$ (TATTO, 2017). Uma vez que, absorção de fósforo pelas plantas é baixa comparada a nitrogênio e potássio, entorno de 0,5% de P faz parte do tecido das plantas.

Portanto, é possível que o P adicionado via adubação na soja tenha sido adsorvido aos colóides do solo com cargas variáveis, bem como, fixado a matéria orgânica e nos óxidos e hidróxidos de Al e Fe (GATIBONI, 2003). Além

disso, uma quantidade de P absorvida encontra-se imobilizada na palhada residual da soja, aguardando sua decomposição. Assmann et al. (2017) relatam que de 8 a 10 kg ha⁻¹ de P foram liberados dos resíduos de soja sobre o solo em sistema ILP, num período de 120 dias.

Figura 16 – Teor de P no solo (mg dm⁻³), após o cultivo de soja, em função da Profundidade de Amostragem do solo, coleta do solo no início da fase I, inverno de abril de 2015.



Médias comparadas pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. CV geral = 114,88%.

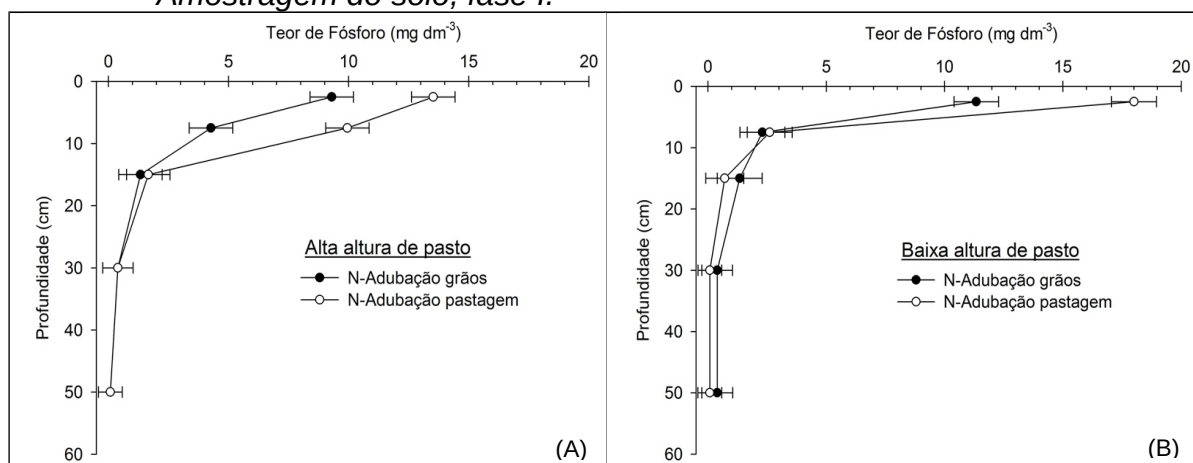
Dessa forma, é visto que não ocorrem perdas de fósforo por lixiviação o decréscimo dos teores do mesmo com o aumento da profundidade (Figura 16), reportando a capacidade da fixação deste elemento nos coloides do solo. Ao mesmo tempo em que, o P que está nos resíduos remanescentes da soja não foi liberado ao solo pelo processo de decomposição efetuado pelos microrganismos do solo.

Na segunda avaliação de P no solo, treze dias após a adubação nitrogenada em cobertura no perfilhamento do azevém (04/06/2015), observou-se efeito de interação tripla de Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto x Profundidade do solo ($P < 0,0016$) (Anova anexo 38). Em síntese, os teores de P aumentaram na camada superficial do solo em ambas as alturas de pasto e tempo de adubação de N em relação à avaliação na transição dos cultivos (Figura 17). Esses resultados são resultantes da adubação fosfatada efetuada em meados do mês de maio de 2015, entorno de 20 dias antes da amostragem do solo, com a

aplicação a lanço de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ igualmente em todas as parcelas do experimento.

Contudo, no desdobramento da interação tripla (Anova desdobramento anexo 39 e 40), constatou-se que os teores de P foram maiores na camada superficial de 0-10 cm (10,8 mg ha⁻¹) nas parcelas que receberam adubação nitrogenada em cobertura no azevém manejadas a Alta Altura de pasto, em comparação as parcelas que não tiveram adubação nitrogenada (6,7 mg ha⁻¹) (Figura 17 A). É possível que a adubação nitrogenada possa ter influenciado na mineralização do fósforo da palhada de soja, fornecendo energia para os microrganismos especializados, bem como, aos solubilizadores de fosfatos do solo.

Figura 17 – Teor de P no solo (mg dm⁻³), treze dias após adubação de N no azevém inverno 2015, em função da Altura de Pasto e da Profundidade de Amostragem do solo, fase I.



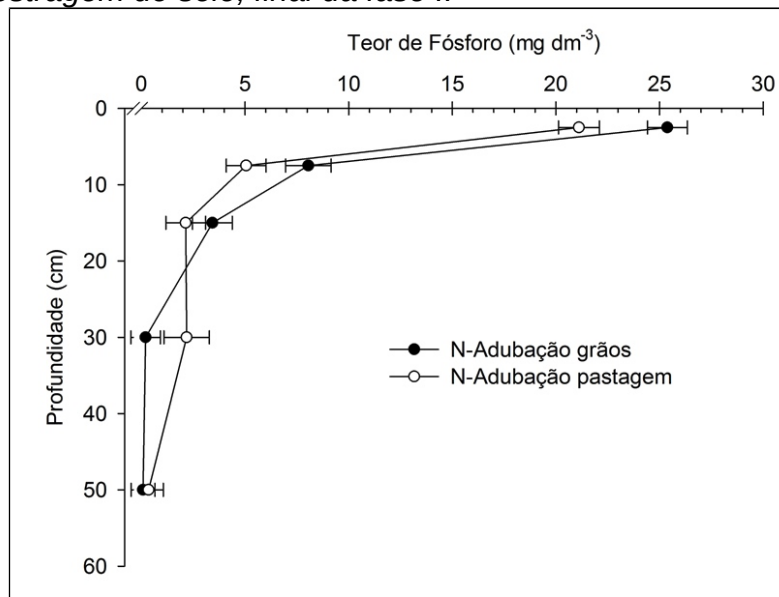
Médias comparadas pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. CV Alta altura de pasto= 119,12% e CV Baixa altura de pasto= 159,07%. Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos; Alta Altura de Pasto: manejo da pastagem à 25 cm de altura; Baixa Altura de Pasto: manejo da pastagem à 10 cm de altura.

Todavia, comportamento similar foi observado nas parcelas manejadas a baixa altura de pasto na camada de 0-5 cm no solo nas parcelas N-Adubação Pastagem (Figura 17 B). Deste modo, a microbiota do solo pode ter contribuído para a decomposição dos resíduos da soja, bem como, a imobilização de P da adubação no tecido microbiano, influenciando na biodisponibilidade deste nutriente no solo. Uma vez que, a biomassa microbiana do solo faz uso dos resíduos orgânicos para apanhar carbono, energia e nutrientes no solo (NEVES, 1992; TSAI et al., 1992),

assim, influenciando a dinâmica dos nutrientes no solo, ocasionando a mineralização dos mesmos da forma orgânica presentes nos resíduos ou imobilização destes na forma mineral presentes no solo (MCGILL; COLE, 1981; SMECK, 1985).

Nos teores de P no solo avaliados dois dias após a saída dos animais, na terceira avaliação da Fase I pastagem de azevém (07/09/2015), constatou-se efeito de interação entre Tempo de Adubação de N x Profundidade de Amostragem do solo ($P < 0,0017$) (Figura 18) e de Altura de Pasto x Profundidade do solo ($P < 0,0048$) (Figura 19) (Anova anexo 41). De certo modo, em ambas as alturas de pasto os teores de P aumentaram na camada de 0-5 cm de solo em interação com a profundidade do solo (Figura 19). O mesmo comportamento ocorre para a interação entre o tempo de adubação de N e a profundidade do solo (Figura 18).

Figura 18 – Teor de P no solo (mg dm^{-3}), dois dias após a saída dos animais da pastagem de azevém inverno de 2015, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e da Profundidade de Amostragem do solo, final da fase I.



Médias comparadas pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. CV Tempo de Adubação N x Profundidade do solo= 123,18%.
 Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos.

O aumento dos teores de P disponível na camada de 0-5 cm do solo é influenciado pela distribuição de resíduos de plantas e animais (urina e esterco) sobre o solo durante o período de pastejo, retornando em maior quantidade via esterco, 95% do P (HAYNES; WILIAMS, 1993). Além disso, a disponibilidade de P

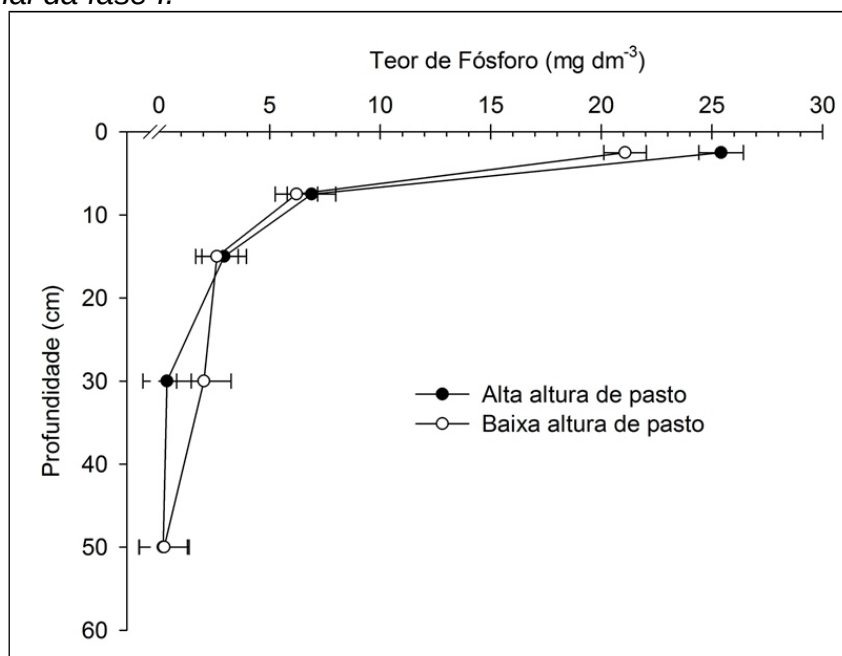
na camada superficial é contraste da disponibilidade de C e N durante a fase de pastagem, influenciando a dinâmica de decomposição dos resíduos depositados sobre o solo (plantas, esterco e urina) e liberação dos nutrientes, entre eles o P (CONCEIÇÃO et al., 2005).

Na interação entre altura de pasto e profundidade do solo, o manejo de Alta Altura de pasto apresentou maior teor de P disponível na camada de 0-5 cm, em relação à Baixa Altura de pasto (Figura 19). Estes resultados podem estar atrelados à absorção de nutrientes pela pastagem de azevém, que quando manejada em Baixa Altura de pasto intensifica o requerimento por nutrientes, bem como, a maior atividade da raiz para absorção dos mesmos (WOODS et al., 2017; COSTA et al., 2014), intensificando a ciclagem de P quando este resíduo decompõe.

No mesmo contexto, nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada durante a pastagem de azevém (N-Adubação Grãos) foi constatado maiores teores de P disponível na camada do solo de 0-10 cm (Figura 18). A adubação nitrogenada estimula o crescimento da planta, bem como, o processo de pastejo faz com que a planta tenha maior absorção de nutrientes, assim, as parcelas que receberam adubação nitrogenada no perfilhamento do azevém (N-Adubação Pastagem), apresentaram menor teor de P disponível no solo devido ao constante crescimento das plantas.

Em avaliação do P em sistema de ILP com ovinos, Sartor (2012) observou que ao longo de 6 anos de avaliação (2006-2011) as áreas com animais em pastejo no inverno apresentaram maiores teores de P no solo até o ano 2009, com maior acúmulo de P na camada de 0-5 cm nos anos de 2010 e 2011. Atribuindo a maior manutenção de P lábil ao longo do tempo na superfície do solo à aplicação de adubação próxima à superfície e a manutenção de resíduos animais e vegetais com maior atividade de raiz (COSTA et al., 2014).

Figura 19 – Teor de P no solo (mg dm^{-3}), dois dias após a saída dos animais da pastagem de azevém inverno de 2015, em função do manejo da Altura de Pasto (Alta Altura e Baixa Altura) e da Profundidade de Amostragem do solo, final da fase I.



Médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV Altura de pasto x Profundidade do solo = 125,14%.
 Legenda: Alta Altura de Pasto: manejo da pastagem à 25 cm de altura; Baixa Altura de Pasto: manejo da pastagem à 10 cm de altura

De modo prático, conforme o Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016), os teores de P do solo extraível pelo método de Mehlich-1 na avaliação após a saída dos animais na fase I azevém, apresentam-se na classe de disponibilidade muito alto ($> 12 \text{ mg de P dm}^{-3}$), classificando a classe do solo como 1 em relação ao teor de argila ($> 60\%$).

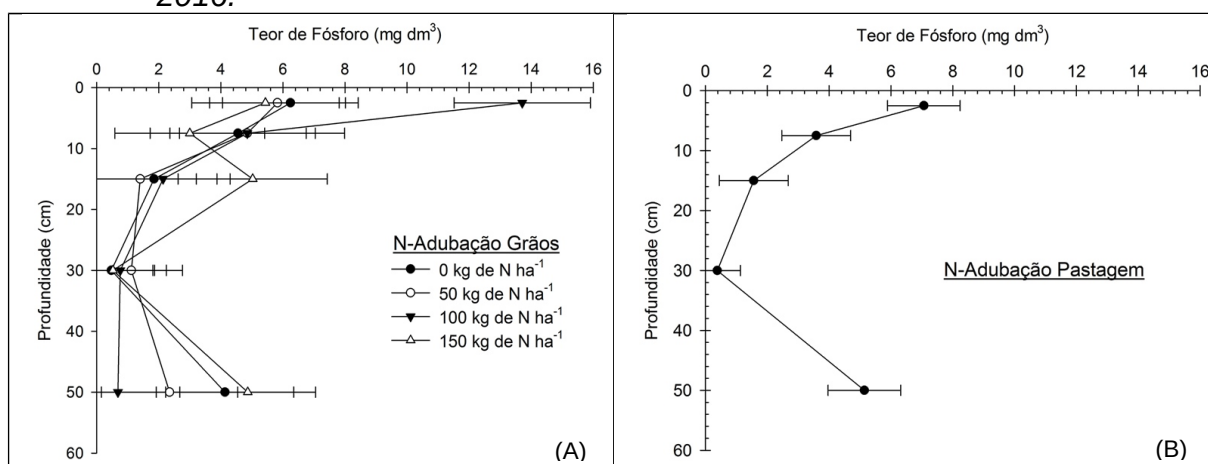
Na fase III, cultivo de feijoeiro safrinha no verão 2016, na amostragem de quinze dias após a adubação nitrogenada em cobertura (12/03/2016), constatou-se efeito da interação tripla de Tempo de Adubação de N x Doses de N x Profundidade do Solo sobre os teores de P disponível no solo ($P < 0,0126$) (Anexo anova 42). No desdobramento da interação no Tempo de Adubação de N (Anova desdobramento anexo 43 e 44), constatou-se nas parcelas N-Adubação Grãos efeito das Doses de N aplicadas em cobertura no feijoeiro nessa parcela interagindo com a Profundidade de Amostragem do solo, com maiores teores de P disponível no solo na dose de 100 kg ha^{-1} de N na camada de 0-5 cm (Figura 20 A).

Os teores de P disponível no solo nas parcelas N-Adubação Grãos

apresentam o mesmo comportamento dos teores de N-NO_3 no solo nas mesmas parcelas e avaliação de quinze após adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro (Figura 14 A). Comportamento atribuído a dose de 100 kg ha^{-1} de N ter suprido naquele momento as necessidades da planta e dos microrganismos, sendo este o nutriente mais absorvido pelas plantas, do mesmo modo, a planta pode ter reduzido à absorção de outros nutrientes, inclusive o fósforo.

Já nas parcelas N-Adubação Pastagem houve efeito isolado da Profundidade do Solo (Figura 20 B), observando-se teores maiores de P disponível na camada de 0-5 cm do solo com redução ao longo do perfil do solo ate a camada de 20-40 cm. Contudo, foi constatado alterações do teor de P disponível no solo na camada de 40-60 cm. Este comportamento de P no solo pode ser atribuído primeiramente a exportação de P na matéria seca do milho silagem, processo que alterou o sistema com a retirada de planta inteira e não retorno de resíduo sobre o solo para manter a interface de ciclagem de nutrientes.

Figura 20 – Teor de P disponível no solo mg dm^3 , quinze dias após a aplicação de doses crescentes de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro em safrinha, em função do tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação grãos), das doses crescentes de N aplicados no feijoeiro e da Profundidade de Amostragem do solo, fase III verão de fevereiro de 2016.



Médias comparadas pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. CV N-Adubação Grãos= 128,23% e CV N-Adubação Pastagem= 131,52%. Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos; Doses crescentes de N: 0, 50, 100 e 150 kg de ha^{-1} de N aplicados em ambos os níveis do tratamento Tempo de Adubação de N.

Além disso, a manutenção de maiores teores de P disponível no solo

na camada superficial podem ser atrelados à adubação fosfatada ocorrer na linha de semeadura em profundidade máxima de 10 cm (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001). Ainda, o pastejo colabora para o crescimento radicular que pode promover a formação de macroporos e bioporosidade, favorecendo a migração da P para camadas mais profundas do solo (COSTA et al., 2014).

4.1.5 Comportamento de Potássio no solo

Desse modo, na fase I, pastagem de azevém (inverno 2015), o teor de potássio amostrado no solo nove dias após a colheita da soja (16/04/2015) apresentou efeito significativo de interação dupla de Tempo de Adubação de N x Profundidade de Amostragem do solo ($P < 0,0349$) (Figura 21) Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto ($P < 0,0065$) (Figura 22) (Anova anexo 45).

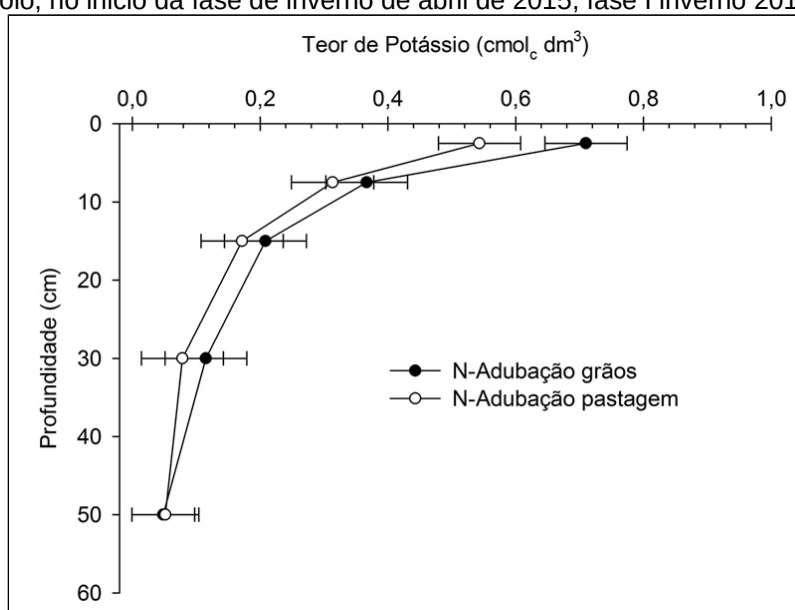
Após o cultivo da soja, constatou-se maiores teores de K na profundidade de 0-5 cm do solo nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada durante o cultivo da pastagem (N-Adubação Grãos) (Figura 21). Contudo, é importante salientar que anteriormente ao plantio da soja em novembro de 2014, a amostragem de solo na camada de 0-20 cm apresentou $0,43 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (TATTO, 2017). Além disso, foi aplicado a lanço na semeadura da soja 150 kg ha^{-1} de cloreto de potássio no dia 28/11/2014, entorno de 90 kg de K_2O .

Relacionando-se o sinergismo entre K e N, pode-se justificar a maior presença de K em solo sob tratamento com N-Adubação Grãos (Figura 21). Uma vez que, nas parcelas que receberam adubação nitrogenada na pastagem, o ambiente se torna rico em N e assim ocorre uma maior absorção de potássio junto com o nitrogênio (BAR TAL, 2011).

Visto que, a adubação nitrogenada efetuada na pastagem de aveia-preta e azevém no inverno de 2014 contribuirá para a produção de forragem e para a qualidade do resíduo que decompõe no cultivo da soja. Bem como, a presença dos animais em pastejo depositando esterco e urina no solo contribuiu para o retorno rápido de N e K e o aproveitamento no cultivo de soja próximo cultivo. Uma vez que, 95% do K ingerido pelos animais durante o pastejo é retornada ao

solo (ciclagem de nutrientes e reciclagem) via esterco e principalmente via urina (HAYNES; WILLIAMS, 1993). Desse modo, o mecanismo de absorção de K através das raízes é potencializado, justificando então, a redução dos teores de K no solo no tratamento N-adubação Pastagem, observado ao final do cultivo da soja (Figura 21).

Figura 21 – Teor de K no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), após o cultivo da soja, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e da Profundidade de Amostragem do solo, no início da fase de inverno de abril de 2015, fase I inverno 2015.



Médias comparadas pelo teste LSD a 5% de probabilidade. CV Tempo de Adubação de N= 87,60 %. Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos

Segundo Assmann et al. (2017), o potássio presente nos resíduos de folhas e caules da soja apresentou meia-vida de 11 e 17 dias, respectivamente, ressaltando que 99% do K encontrava-se no compartimento lábil, em avaliação sob sistema de ILP. O mesmo comportamento foi relatado anteriormente em outros estudos, observando valores de meia-vida de 13 dias para resíduos da soja (PADOVAN et al., 2006) e 15 e 21 dias para folhas de feijão e caules/vagens, respectivamente (CHAGAS et al., 2007).

Nesse contexto, é possível compreender que os maiores teores de K no solo nas parcelas N-Adubação Grãos estão relacionados com a diferença na sincronização da queda das folhas da soja entre os tratamentos de adubação nitrogenada do início da senescência até a colheita de grãos (Figura 21). Uma vez que, com o aporte de resíduo vegetal sobre o solo, a liberação de K no solo é rápida,

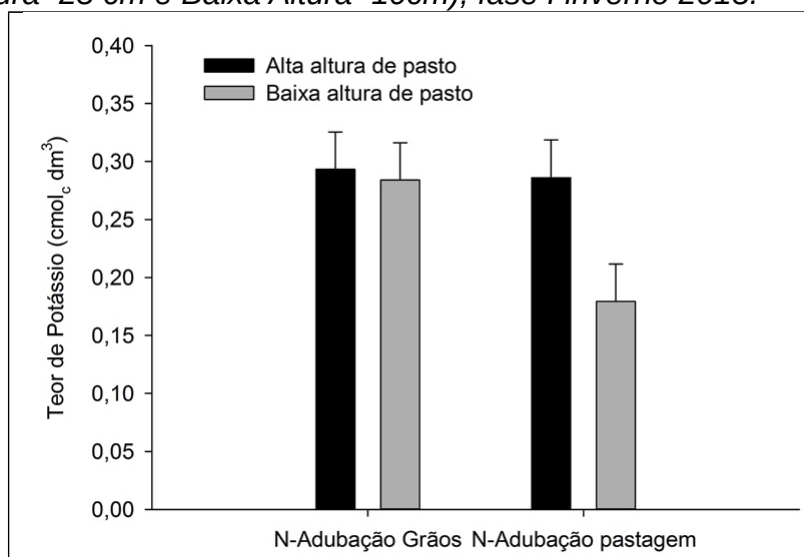
visto o alto índice decomponível do material vegetal (folhas). Visto que, o potássio encontra-se na forma livre nos tecidos vegetais, não fazendo parte de compostos estruturais das plantas, pode ser rapidamente liberado para a solução do solo após a senescência, removido pela água e sem depender da atividade microbiana (MIELNICZUK, 2005).

De modo geral, em ambos os tempos de adubação de N o teor de K é considerado muito alto no solo na camada de 0-5 cm (CQFS, 2016), encontrando-se acima de 180 mg dm^{-3} ($277,61 \text{ mg dm}^{-3}$ para N-Adubação Grãos e $211,14 \text{ mg dm}^{-3}$ em N-Adubação Pastagem) para a faixa de $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ do solo ($12,62 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Por vez, esses são resultado da rápida liberação do potássio dos componentes vegetais, nesse caso da palhada da soja para o solo. Por isso, a importância da instalação do próximo cultivo logo após a colheita de grãos na transição de verão/inverno, ou mesmo após a retirada de animais, quando for transição inverno/verão.

Em continuidade, na interação entre Tempo de Adubação de N e Altura de pasto (Figura 22), constataram-se menores teores de K nas parcelas manejadas em baixa altura de pasto e que receberam adubação nitrogenada na pastagem de aveia preta + Azevém (N-Adubação Pastagem) (Figura 22). Esse resultado reflete o ambiente de maior ciclagem de nutrientes formado durante a fase de pastejo nessas parcelas, visto que, é possível manter maior carga animal e conseqüentemente ter maior deposição de esterco e urina pelos animais, além da planta estar constantemente necessitando de nutrientes para o seu crescimento.

Desse modo, a cultura da soja instalada sobre essas parcelas teve um ambiente rico em nutrientes, principalmente N, o que ocasionou maior absorção deste e em conjunto o potássio, que é o segundo nutriente mais absorvido pelas plantas após o N (MARSCHNER, 1995). Por vez, no cultivo de grãos de soja ocorre uma maior exportação deste nutriente na colheita via grãos, entorno de 20 kg ha^{-1} de K_2O é exportado para cada 1000 kg ha^{-1} de grãos (ZANCANARO et al., 2009), justificando a diminuição do teor do nutriente no solo após o cultivo da soja, principalmente nas parcelas N-Adubação Pastagem manejadas a Baixa Altura de pasto (Figura 22).

Figura 22 – Teor de K no solo ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$), após o cultivo da soja no início da fase de inverno de abril de 2015, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e da altura de pasto (Alta Altura=25 cm e Baixa Altura=10cm), fase I inverno 2015.



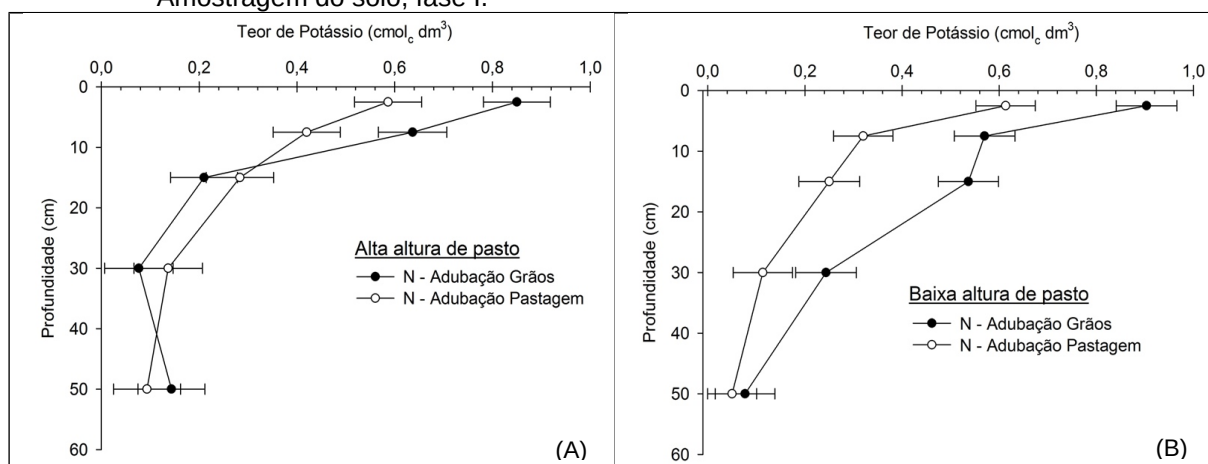
Médias comparadas pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. CV Tempo de Adubação de N= 87,60 % e CV Altura de Pasto=88,70%. Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos; Alta Altura de Pasto: manejo da pastagem à 25 cm de altura; Baixa Altura de Pasto: manejo da pastagem à 10 cm de altura

Seguindo o modelo de reações sinérgicas entre potássio e nitrogênio no solo, treze dias após a adubação nitrogenada em cobertura no azevém durante inverno de 2015, houve efeito de interação tripla de Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto x Profundidade de Amostragem do solo ($P < 0,0203$) (Anova anexo 46). No desdobramento da interação (Anova desdobramento anexo 47 e 48), constatou-se que menores teores de K são observados nas parcelas que receberam adubação nitrogenada (200 kg ha^{-1} de N, N-Adubação pastagem) na fase de perfilhamento do azevém, em ambos os manejos de altura de pasto (Figura 23 A e B). A aplicação de adubação nitrogenada estimula a absorção de potássio pelas plantas, fazendo com que os teores do mesmo diminuam ao longo do perfil do solo.

Neste caso, há uma reação de sinergismo entre os íons de nitrogênio e potássio no solo, onde ao aplicar o nitrogênio o mecanismo de absorção de K via raízes é potencializado, desta forma, justificando redução dos teores de potássio no solo nas parcelas N-Adubação Pastagem (BAR TAL, 2011).

Compreende-se que o N é o nutriente requerido para crescimento e desenvolvimento das plantas e tais processos desencadeiam o aumento da pressão intracelular devido a maior concentração de água nas células. Dessa forma, para manter o equilíbrio osmótico a planta precisa absorver maiores quantidade de K, uma vez que este é o principal soluto osmótico, refletindo em reduções dos seus teores no solo. Boa parte do total de N e K requerido pelas culturas é, portanto, levado para sustentar o desenvolvimento e a expansão do dossel das folhas durante os primeiros meses de crescimento (MILFORD e JOHNSTON, 2007).

Figura 23 – Teor de K no solo ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$), treze dias após adubação de N no azevém inverno 2015, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Grãos e N-Adubação Pastagem), da Altura de Pasto (Alta Altura=25 cm e Baixa Altura=10 cm) e da Profundidade de Amostragem do solo, fase I.



Médias comparadas pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. CV Tempo de Adubação de N= 87,60 % e CV Altura de Pasto=88,70%. Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos; Alta Altura de Pasto: manejo da pastagem à 25 cm de altura; Baixa Altura de Pasto: manejo da pastagem à 10 cm de altura.

Além disso, a disponibilidade do nitrogênio e do potássio e a adequada proporção entre eles no solo são fatores importantes nos processos de crescimento e desenvolvimento das plantas, e da sustentabilidade do sistema (VIANA e KIEHL, 2010).

Isso é confirmado em avaliações de adubação nitrogenada no cultivo de arroz, onde a aplicação de 100 kg ha^{-1} de N sem adubação potássica sustentava uma boa produção. Contudo, com o fornecimento de potássio em uma dose baixa de 25 kg ha^{-1} , a dose ótima de nitrogênio reduziu em 50% em relação à dose praticada sem adubação de K, consistindo assim uma clara demonstração de

interação entre N e K (FARINELLI et al., 2003).

A diferença provocada pela adubação nitrogenada sobre os teores de potássio do solo é intensificada nas parcelas manejadas a baixa altura de pasto (Figura 23 B). Uma vez que, a presença de um maior número de animais provoca um efeito de crescimento compensatório das plantas causadas pelo pastejo e conseqüentemente aumenta a taxa de extração de nutrientes (MARTINS et al., 2015). Fato esse atrelado a redistribuição de nutrientes pelo consumo, por meio da desfolhação da pastagem, e pelo seu retorno para o solo, via excreção (NASCIMENTO Jr.; CAVALCANTE, 2001).

Assim, o maior consumo de pastagem manejada a baixa altura reflete na ciclagem de nutrientes no sistema, que força a trazê-los de maiores profundidades no perfil do solo com a expansão do sistema radicular. Ainda é possível observar que os teores de potássio no solo decrescem com o aumento da profundidade no perfil de solo, destacando que dificilmente ocorrem perdas deste nutriente por lixiviação (Figura 23 A e B). Mesmo que a interação entre o N e o K poderia formar um par iônico entre o nitrato e potássio, que potencializaria os processos de lixiviação.

A maior concentração de potássio nas camadas superficiais do solo está associada às cargas trocáveis que este solo apresenta, principalmente, influenciadas pelo teor de matéria orgânica do solo (KAYSER e ISSELSTEIN 2005), que tem um suporte aumentado pela deposição de dejetos animais. Franchini et al. (2000), também não observaram perdas de potássio por lixiviação e formação de par iônico com nitrato, em avaliação de rotação de culturas em sistema de plantio direto. Justificando a possibilidade de o íon cálcio ter sido o acompanhante do nitrato.

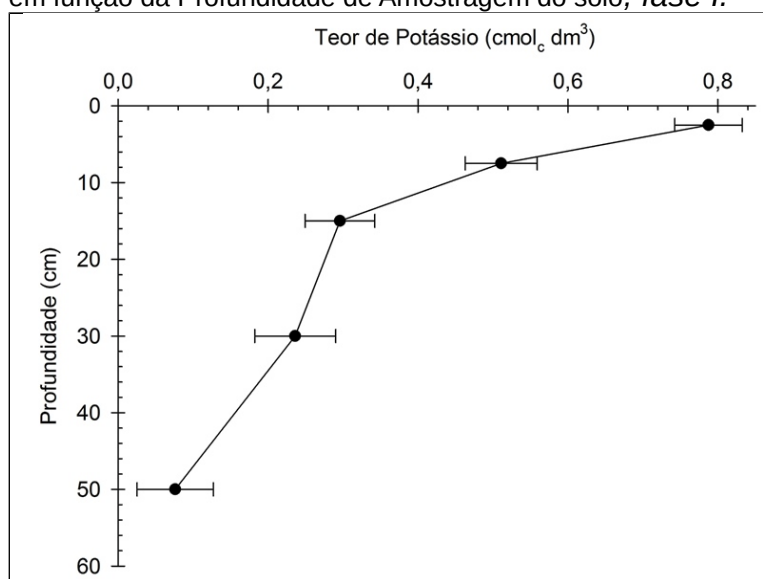
Ainda, na fase I, pastagem de azevém (inverno 2015), o teor de potássio amostrado no solo dois dias após a saída dos animais da pastagem (07/09/2015), apresentou efeito significativo isolado da Profundidade de Amostragem do Solo ($P < 0,0000$) e de interação dupla de Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto ($P < 0,0463$) (Anova anexo 49).

Os teores de K disponível no solo decrescem com o aumento da profundidade do solo avaliada, mantendo-se com valores superiores ao muito alto ($> 180 \text{ mg dm}^{-3}$ ou $0,46 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) até a camada de 0-10 cm (Figura 24). Boa parte

do K disponível nessa camada do solo é provinda do retorno de K via excretas dos animais (esterco e urina), influenciando na fertilidade do solo.

Além disso, um dos propósitos do pastejo é ciclar os nutrientes do sistema, trazendo-os de camadas mais profundas para as mais superficiais do solo, por isso, observa-se a formação de um gradiente de redução dos teores de K em profundidade (Figura 24). No mesmo contexto, Ferreira et al. (2009) constataram que após o período de pastejo em área de ILP, a distribuição de K no perfil do solo revelava a formação de gradiente decrescente de concentração do mesmo a partir da superfície do solo. Esse é um comportamento é atribuído como comum para sistemas de plantio direto consolidado e acontecem em similaridade com o gradiente de C orgânico no solo (MIELNICZUK, 2005; ANGHINONI, 2007).

Figura 24 – Teor de K no solo ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), dois dias após a saída dos animais do azevém inverno 2015, em função da Profundidade de Amostragem do solo, *fase I*.



Médias comparadas pelo teste LSD a 5% de probabilidade. CV geral = 72,85%.

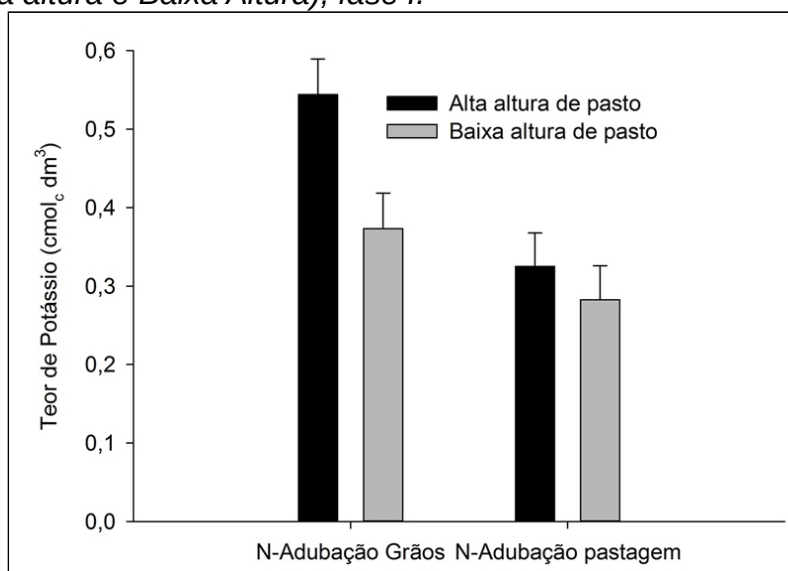
Todavia, o incremento da matéria orgânica do solo provindo do alto aporte de resíduos (palhada, esterco e urina dos animais) se torna responsável por grande parte (até 70 %) da CTC dos solos tropicais (SILVA et al., 2004), o que resulta em aumento da retenção de cátions facilmente lixiviados, disponibilizando-os para absorção das plantas e reciclagem no sistema para o próximo cultivo, como é observado os elevados teores de K na camada superficial do solo (Figura 24).

Na interação entre o tempo de adubação nitrogenada e a altura de

pasto, constataram-se maiores teores de K disponível no solo nas parcelas N-Adubação Grãos manejadas em Alta Altura do pasto (Figura 25). Esses resultados são reflexos da menor produção de forragem e desfolha ocasionada pelos animais nessas parcelas, uma vez que, para manter a altura do pasto próxima a 25 cm foram deixados o mínimo de animais possíveis na área, ou seja, carga animal baixa.

Além disso, a não adubação nitrogenada nas parcelas N-Adubação Grãos proporcionaram um menor crescimento e desenvolvimento da pastagem de azevém, perfazendo em menor absorção de K pelas plantas (Figura 25). Visto que, o N é o nutriente requerido para o crescimento e desenvolvimento das plantas e como tais processos desencadeiam mudanças na pressão intracelular, para manter o equilíbrio osmótico a planta precisa de maiores quantidades de K, assim o N e K sustentam a expansão do dossel das folhas durante os primeiros meses (MILFORD; JOHNSTON, 2007).

Figura 25 – Teor de K no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), dois dias após a saída dos animais da pastagem de azevém inverno de 2015, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e da Altura de Pasto (Alta altura e Baixa Altura), fase I.



Médias comparadas pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. CV N-Adubação Grãos= 66,72% e CV N-Adubação Pastagem= 74,29%; CV Baixa Altura de pasto=72,76% e CV Alta Altura de pasto= 71,90%. Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos; Alta Altura de Pasto: manejo da pastagem à 25 cm de altura; Baixa Altura de Pasto: manejo da pastagem à 10 cm de altura.

Já quando as parcelas são manejadas em Baixa Altura de pasto ou recebem adubação nitrogenada em cobertura durante a fase pastagem, observou-se

menores teores de K disponíveis no solo (Figura 25). Assim, demonstrando o efeito do pastejo na ciclagem de nutrientes, forçando a planta a absorver mais nutrientes, bem como, da interação entre N e K quando é efetuada adubação nitrogenada em cobertura na fase pastagem.

Em avaliação de sistema de ILP feijão/milho – ovinos de corte e doses crescentes de N aplicadas durante a fase pastagem e cultura de grãos, Sartor (2012), observou interação entre teores de K e as doses de N, com redução dos teores com as crescentes doses de N aplicadas em cobertura na pastagem. Dessa forma, é visto a influencia do nitrogênio para o crescimento e desenvolvimento da pastagem, bem como, do aumento da necessidade de absorção de K para suprir a planta e ocorrer renovação folhar durante o pastejo, corroborando para menores teores de K nas parcelas N-Adubação Pastagem (Figura 25).

Na fase III, cultivo de feijoeiro em safrinha no verão 2016, na amostragem de quinze dias após a aplicação de doses crescentes de N em cobertura (12/03/2016), constatou-se efeito da interação tripla de Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto x Doses de N sobre os teores de K disponível no solo ($P < 0,0002$) e efeito isolado da Profundidade de Amostragem do solo ($P < 0,0000$) (Anexo anova 50).

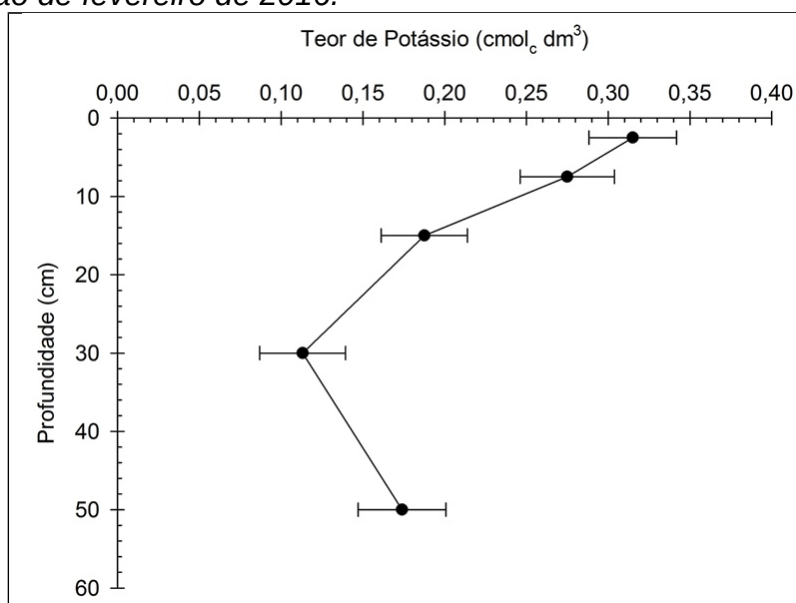
Como observado durante todas as datas de amostragem de solo, o teor de K disponível no solo foi superior na camada de 0-10 cm, decrescendo com o aumento da profundidade do solo (Figura 26). Contudo, é observado que os teores K são menores nessa camada em relação à avaliação após a saída dos animais da pastagem, é importante lembrar que anteriormente ao cultivo do feijoeiro teve-se o cultivo de milho para silagem, qual em sua matéria seca exportou $105,10 \text{ kg ha}^{-1}$ de K.

No desdobramento dos teores de K disponível no solo para a interação nas alturas de pasto (Anova desdobramento anexo 51 e 52), foi observado efeito isolado de Doses de N e da Profundidade do Solo nas parcelas manejadas em Alta Altura de pasto (Figura 27 A e B) e, somente efeito da Profundidade do Solo nas parcelas manejadas em Baixa Altura do pasto (Figura 27 C).

Quando a pastagem foi manejada em Alta Atura do pasto e aplicaram-se doses crescentes de N em cobertura na cultura do feijoeiro,

constataram-se maiores teores de K disponível no solo na Dose de 0 kg ha⁻¹ de N nas parcelas N-Adubação Grãos (Figura 27 A). Contudo, os teores de K no solo decrescente com as doses crescentes de N nas parcelas N-Adubação Grãos, indicando o sinergismo entre N e K que veem sendo visualizado durante toda a avaliação do experimento.

Figura 26 – Teor de K no solo (cmol_c dm³), quinze dias após a aplicação de doses crescentes de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro em safrinha, em função da Profundidade de Amostragem do solo, fase III verão de fevereiro de 2016.



Médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV Profundidade do solo = 69,31%.

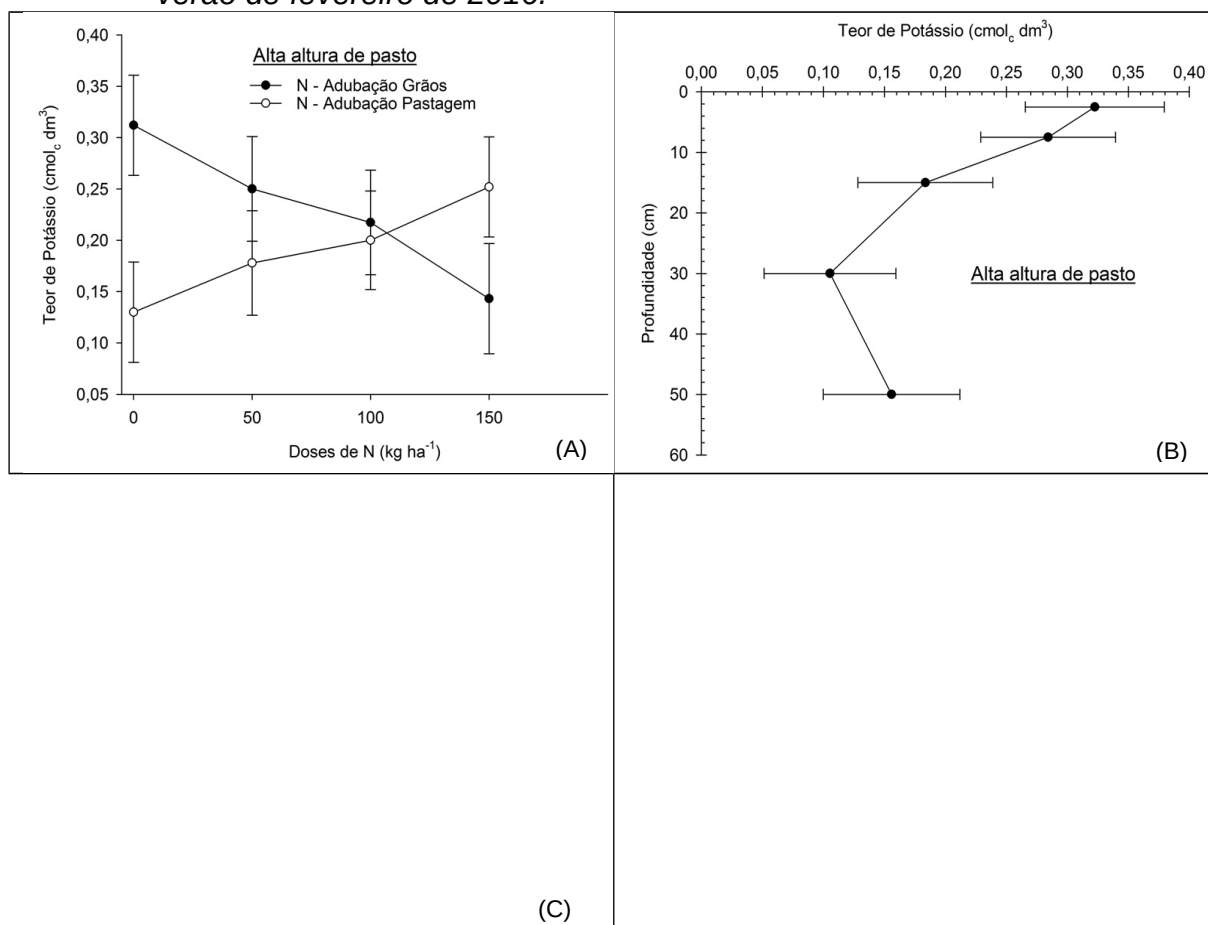
Ainda, a manutenção de maiores teores de K na Dose de 0 kg ha⁻¹ de N nas parcelas N-Adubação Grãos em relação a N-Adubação Pastagem, pode ser reflexo da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho silagem, que já apresentava teores de K no solo superiores desde a saída dos animais.

Já para o manejo da pastagem em Baixa Altura, o alto aporte de urina e esterco resultante da maior carga animal durante o pastejo do azevém, fase I, elevaram os teores de nutrientes no solo, ofuscando o tratamento de tempo de adubação de N (Figura 27 C). Mesmo que houve o cultivo de milho silagem anterior ao feijoeiro com a aplicação dos tratamentos de tempo de adubação nitrogenada, é visto o papel preponderante que os animais exercem no sistema solo-planta-animal.

Em ambas as alturas de pasto foram observadas comportamento

semelhante dos teores de K no perfil do solo, formando um gradiente decrescente da superfície do solo. Uma vez que, Kayser e Isselstein (2005) salientam que a lixiviação de potássio em sistemas com pastagem é normalmente baixa, contudo, os teores altos de K disponíveis no solo e a alta entrada de K via fertilizante ou urina possibilitam incrementos de possíveis perdas.

Figura 27 – Teor de K no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), quinze dias após a aplicação de doses crescentes de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro em safrinha, em função do tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação grãos), das doses crescentes de N aplicados no feijoeiro e da Altura de Pasto (Alta Altura=25 cm e Baixa Altura=10 cm), fase III verão de fevereiro de 2016.



Médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV Alta altura de pasto= 74,53% e CV Baixa altura de pasto= 63,70%. Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos; Doses crescentes de N: 0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1} de N aplicados em ambos os níveis do tratamento Tempo de Adubação de N; Alta Altura de pasto = pastagem manejada para manter 25 cm e Baixa Altura= pastagem manejada para manter 10 cm de altura.

Desse modo, em sistemas de produção que não existe pousio entre uma cultura e outra, ou seja, sistema planta-colhe-planta, o K absorvido permanece

a maior parte do tempo no tecido vegetal, protegido de perdas por lixiviação e/ou erosão do solo (FERREIRA et al., 2011).

4.2 Estado nutricional de Plantas

4.2.1 Milho Silagem: Curva de diluição de nitrogênio

Para avaliar o estado nutricional nitrogenado das plantas por meio da curva de diluição de N, se faz importante a determinação da MS acumulada e do teor de N nessas plantas durante o desenvolvimento da cultura. Normalmente, o estudo da curva de diluição de N inicia-se quando a planta atinge acúmulo de 1 Mg ha⁻¹ de MS até o seu enchimento de grãos. Por sua vez, esse período no milho abrange o momento de maior exigência de N pela cultura, do estágio vegetativo V4-V6 até o completo enchimento de grãos R3 e R4, quando a planta conclui a translocação de reservas para o grão.

No entanto, para o estudo da curva de diluição de N no milho silagem no presente experimento, houve a antecipação da primeira coleta de MS das plantas de milho, sendo realizada a primeira coleta da parte aérea das plantas de milho antes da adubação nitrogenada em cobertura. Essa mudança no período de amostragem de plantas de milho partiu da decisão de averiguar o teor de N, bem como a quantidade de MS acumulada, antes que o milho recebesse 200 kg ha⁻¹ de N em cobertura somente nas parcelas N-Adubação Grãos, uma vez que, as plantas de milho atingiram 1 Mg ha⁻¹ de MS apenas após a adubação nitrogenada (Figura 28).

Desse modo, as curvas de diluição de N no milho foram geradas com base no procedimento de regressões não lineares (Figura 28 e 29). Como esperado, a concentração de N nas plantas de milho reduziu com o crescimento das mesmas (LEMAIRE e SALETTE, 1984) e, conseqüentemente houve aumento de biomassa. De tal modo, foram confrontados os teores de N na parte aérea do milho silagem com a curva de diluição de N proposta por Lemaire (1997) para plantas C4 (Figura 28).

É possível observar que antes do milho silagem atingir a produção de

1 Mg ha⁻¹ de MS e receber 200 kg ha⁻¹ de N (35 dias após a semeadura), os teores de N na planta encontravam-se menores nas parcelas que receberiam adubação nitrogenada em cobertura no milho (teor de N=3,37% / N-Adubação Grãos) em relação as parcelas que receberam adubação de N na pastagem (teor de N=4,11% / N-Adubação Pastagem) (P< 0,0001) (Anova anexo 54) (Figura 28). Uma vez que, as plantas de milho cultivadas nas parcelas N-Adubação Pastagem podem ter tido maior disponibilidade de N mineral no solo, já que, ao final do pastejo, na amostragem de solo após a saída dos animais, foi constatado maiores teores de N-NO₃ no solo nessas parcelas (Figura 10 após a saída dos animais).

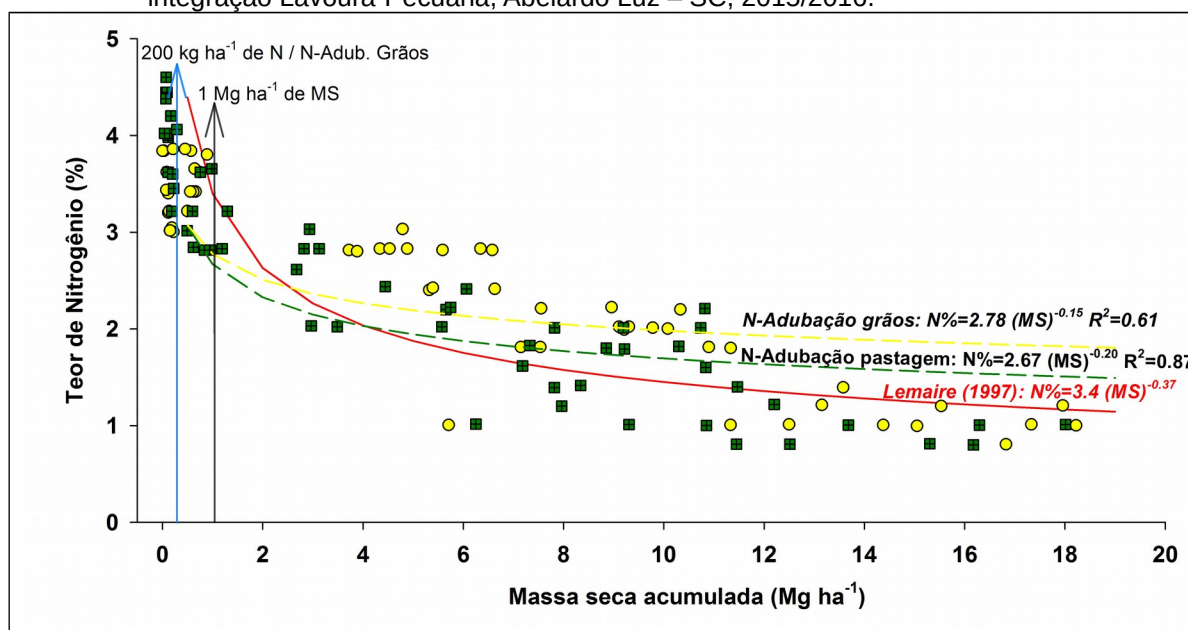
Nesse contexto, a hipótese é que a adubação nitrogenada aplicada em cobertura na pastagem de azevém tenha proporcionado uma melhor qualidade estrutural da planta de azevém, perfazendo uma rápida ciclagem de nutrientes disponibilizando-os no solo após a saída dos animais até a coleta de plantas de milho antecedendo a adubação de N em cobertura. Por vez, a utilização do nitrogênio aumentou com a aceleração dos processos de decomposição dos resíduos vegetais e a matéria orgânica disponibilizando nutrientes para plantas (SARTOR et al., 2011).

Por outro lado, após a adubação nitrogenada em cobertura no milho silagem apenas nas parcelas N-Adubação Grãos, os teores de N em relação a MS acumulada passaram a ser maiores que observado das parcelas N-Adubação Pastagem (que não recebeu adubação de N em cobertura no milho) (Figura 28). Contudo, na coleta sete dias após a adubação nitrogenada em cobertura no milho nas parcelas N-Adubação Grãos, não foi observado acúmulo de MS do milho maior ou igual a 1 Mg ha⁻¹ de MS em ambas as parcelas. Uma vez que, a curva de diluição de N do milho silagem ainda encontrava-se abaixo da curva proposta por Lemaire (1997) (Figura 28).

Além disso, a concentração de N no milho em função da matéria seca acumulada atingiu o nível crítico de N somente após atingir entorno 3 Mg ha⁻¹ de MS nas parcelas N-Adubação Grãos (Figura 28), ou seja, os teores de N em relação a MS acumulada passaram a estar acima da curva de diluição proposta por Lemaire (1997). Por sua vez, o nível crítico de N nas plantas de milho cultivadas nas parcelas que receberam adubação de N em cobertura apenas na pastagem de azevém (N-

Adubação Pastagem) foi alcançado após atingir entorno 3 Mg ha⁻¹ de MS.

Figura 28 – Concentração de N no Milho Silagem de acordo com o tempo de adubação nitrogenada em relação à massa seca acumulada, comparada com a curva de diluição de nitrogênio para plantas C4 (Ncrit = 3,4MS-0,37) proposta por Lemaire (1997), em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz – SC, 2015/2016.



Legenda: N-Adub. Grãos= nitrogênio aplicado em cobertura na cultura de grãos no verão; N-Adub Pastagem= N aplicado em cobertura no perfilhamento da pastagem no inverno.

Entretanto, Maccari (dados não publicados) utilizando doses crescentes de N aplicadas em cobertura em subparcelas no cultivo de milho, na mesma área experimental no ano agrícola de 2013/2014, observou que quando a adubação nitrogenada foi aplicada nas parcelas na fase pastagem (N-Adubação Pastagem), a concentração de N no milho atingiu nível crítico com a dose de 100 kg ha⁻¹ de N aplicado no estágio V5 do milho. E apenas quando o milho não recebeu N em cobertura, o nível crítico permaneceu abaixo da curva crítica de N proposta por Lemaire (1997). Porém, nas parcelas que não houve adubação de N em cobertura na fase pastagem (N-Adubação Grãos), a concentração de N no milho atingiu nível crítico apenas quando foi aplicado em cobertura no milho 200 kg ha⁻¹ de N no estágio V5.

Todavia, utilizando a equação de $N\% = a (MS)^{-b}$ de Lemaire e Salette (1984) para cada curva mostradas na Figura 28, foi obtida a relação entre a concentração de N na planta e o acúmulo de MS. Salienta-se que, o valor observado

para o parâmetro “a” foi maior na parcela que recebeu adubação nitrogenada no cultivo do milho (N-Adubação Grãos) em comparação com as parcelas que receberam adubação de N em cobertura apenas na Fase I (N-Adubação Pastagem), ou seja, as plantas cultivadas nas parcelas N-Adubação Grãos precisaram absorver uma concentração de 2,78% de N para produzir 1 Mg ha⁻¹ de MS, mostrando que é possível ter um melhor estado nutricional das plantas de milho quando elas recebem adubação nitrogenada em cobertura.

Em vista disso, a circunstância de que o estado nutricional nitrogenado possa ser analisado em estágios iniciais do crescimento das plantas poderá ser um indicador da necessidade de adubação nitrogenada com cobertura no milho. Pois, durante o crescimento vegetativo a expansão foliar pode ser fundamental na absorção de N pela planta e a biomassa aérea por meio dos seus compartimentos órgãos vegetativos e reprodutivos (espigas) delimita a translocação e remobilização de N. Por sua vez, Plénet e Lemaire (2000) verificaram em estudo da remobilização de N, que de 173 kg de N ha⁻¹ requerido pela cultura do milho no período reprodutivo, entorno de 113 kg de N ha⁻¹ foram remobilizados dos compartimentos vegetativos, enfatizando a importância da manutenção do status nitrogenado na planta durante a expansão foliar. Diante disso, é observado que em ambas as parcelas de tempo de adubação de N a redução e estabilização do teor de N na planta de milho ocorre entre 4 e 6 Mg ha⁻¹ de MS acumulada. De tal modo, é possível que com a aplicação antecipada de N possa proporcionar uma melhor utilização do N no controle de remobilização entre os compartimentos da planta e manutenção do status nitrogenado.

Ademais, para o parâmetro “b” gerado nas curvas de diluição de N para os tratamentos de tempo de adubação de N, a medida que refere-se a velocidade de diluição de N durante o desenvolvimento da planta, foi observado que as parcelas N-Adubação Pastagem apresentaram maior valor de velocidade de diluição de N (0,20) em relação a N-Adubação Grãos (0,15) (Figura 28). Ou seja, a velocidade de diluição de N nas plantas de milho foi maior quanto menor a disponibilidade de N para o milho.

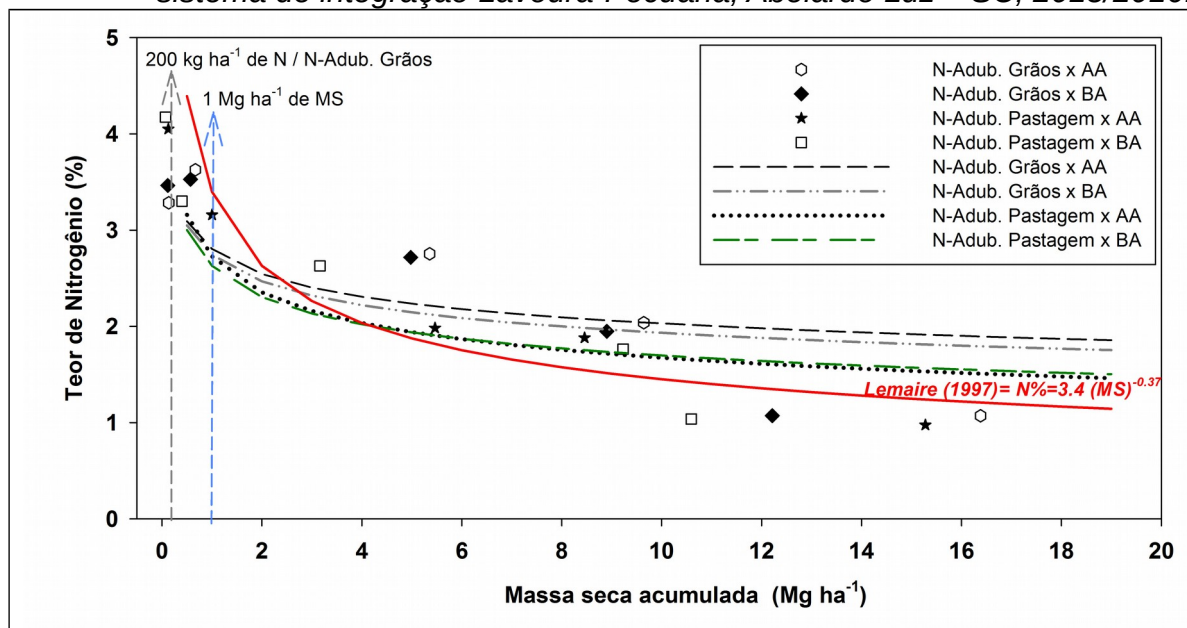
Por outro lado, as curvas de diluição de N geradas da combinação dos fatores de Tempo de Adubação de N e a Altura de Pasto (Figura 29), ou seja, da

interação dos efeitos do manejo da pastagem de azevém e da adubação de sistemas sobre a nutrição nitrogenada do milho, apresentaram similaridade com as curvas de diluição de N anteriores (Figura 28). Da mesma forma, as parcelas que receberam adubação nitrogenada em cobertura na pastagem apresentaram maiores teores de N antes da adubação nitrogenada no milho. Porém, as parcelas que foram manejadas em Baixa Altura de pasto e receberam adubação de N em cobertura (N-Adubação Pastagem) durante o inverno de 2015, tiveram maiores teores de N (4,17%) na parte área do milho antes que o mesmo recebe-se adubação de N em cobertura (Figura 29).

Além disso, as plantas de milho cultivadas nas parcelas N-Adubação Pastagem e com manejo do azevém em Alta Altura de pasto tiveram a concentração de 4,05% de N na coleta antecessora a adubação de N em cobertura no milho somente nas parcelas N-Adubação Grãos, em contraste com 3,28 % de N nas parcelas manejadas na Alta Altura de pasto e que não receberam N durante a Fase I (N-Adubação Grãos). Ou seja, a coleta anterior a adubação nitrogenada em cobertura no milho nas parcelas N-Adubação Grãos demonstra a contribuição da adubação nitrogenada na pastagem com o estado nutricional de nitrogênio das plantas de milho no início de seu desenvolvimento.

Logo, o manejo da pastagem com desfolhação frequente pode acelerar a taxa de mineralização do N residual, elevando a disponibilidade de N para as plantas, em virtude de afetar a qualidade e quantidade de resíduos depositados sobre o solo (DUBEUX et al., 2006). Além disso, pode afetar a reciclagem de nutrientes via fezes e urina, acelerando os processos de retorno dos nutrientes ao solo para absorção pelas plantas. Em suma, os maiores teores de N no início da avaliação da concentração e N na parte aérea das plantas de milho nas parcelas N-Adubação Pastagem, demonstra o efeito residual do N no solo resultante da intensificação da ciclagem de nutrientes causada pelo pastejo e a adição de N no pasto (ASSMANN et al., 2014).

Figura 29 – Concentração de N no Milho Silagem de acordo com o tempo de adubação nitrogenada e altura de pasto em relação à massa seca acumulada, comparada com a curva de diluição de nitrogênio para plantas C4 ($N_{crit} = 3,4MS^{-0,37}$) proposta por Lemaire (1997), em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz – SC, 2015/2016.



Legenda: N-Adub. Grãos= nitrogênio aplicado em cobertura na cultura de grãos no verão; N-Adub Pastagem= N aplicado em cobertura no perfilhamento da pastagem no inverno; AA= manejo da pastagem em Alta altura do pasto; BA= manejo da pastagem em Baixa altura do pasto.

Contudo, foi observado que após a aplicação de N em cobertura no milho silagem somente nas parcelas N-Adubação Grãos, essas tiveram seus teores de N na parte aérea das plantas maiores em relação as parcelas N-Adubação Pastagem (Figura 29), com um maior status de nitrogênio nas plantas cultivadas nas parcelas que foram manejadas em Alta Altura de pasto em relação a Baixa Altura. Visto que, a pastagem manejada em Alta Altura de pasto e sem adubação de N e cobertura possivelmente apresentava uma maior relação C:N e maior quantidade de palhada residual sobre o solo em relação ao manejo em Baixa Altura no mesmo tempo de adubação de N, assim, quando houve a adubação de N em cobertura no milho nessas parcelas, pode ter ocorrido maior taxa de mineralização de N provindo da decomposição desse resíduo, disponibilizando no solo para a absorção pelas plantas.

Nesse contexto, a curva de diluição de N das plantas de milho cultivadas nas parcelas N-Adubação Grãos manejadas em Alta e Baixa Altura de

pasto permaneceu com maior concentração de N em sua parte aérea até o final do cultivo do milho silagem (Figura 29). Após o milho silagem atingir a produção de 3 Mg ha⁻¹ de MS o teor de N da planta esteve acima do nível crítico de N proposto na curva de diluição de N de Lemaire (1997).

Todavia, o parâmetro “a” estimado pela equação proposta por Lemaire e Salette (1984) (Tabela 4), apresentou menores concentrações de N na planta de milho para produzir 1 Mg ha⁻¹ de MS quando as plantas foram cultivadas nas parcelas que tiveram o manejo da pastagem em Baixa Altura de Pasto, sendo menor a concentração de N na parte aérea da planta quando a pastagem recebeu N em cobertura (2,63 % de N /parcelas N-Adubação Pastagem). O mesmo comportamento entre o tempo de adubação de N ocorre quando a pastagem foi manejada em Alta Altura de pasto, 2,73 % de N para as parcelas N-Adubação Pastagem em relação as parcelas N-Adubação Grãos com teor de 2,81 % de N.

Já para o parâmetro “b”, não houve diferenças relevantes causadas pelo manejo de altura de pasto sobre a velocidade de diluição de N da parte aérea das plantas de milho, mantendo-se o maior efeito do tempo de adubação de N (Tabela 4). Uma vez que, as plantas de milho cultivadas nas parcelas que receberam adubação de N na pastagem cultivada anteriormente ao milho silagem (N-Adubação Pastagem), apresentaram maior valor de velocidade de diluição de N conforme o aumento da MS acumulada.

Tabela 3 – Estimativas dos parâmetros a e b do modelo $\% N = a (MS)^{-b}$, afetadas pela combinação dos tratamentos tempo de adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e altura de pasto (Alta altura e Baixa altura), no Milho Silagem em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2015/2016. UTFPR, Pato Branco, PR, 2018.

Combinação dos Fatores	Parâmetros		R ² ajustado
	a	b	
N-Adub. Pastagem x Alta Altura de pasto	2,73	0,21	0,87
N-Adub. Pastagem x Baixa Altura de pasto	2,63	0,19	0,84
N-Adub. Grãos x Alta Altura de pasto	2,81	0,14	0,50
N-Adub. Grãos x Baixa Altura de pasto	2,74	0,15	0,58

Legenda: N-Adub. Grãos= nitrogênio aplicado em cobertura na cultura de grãos no verão; N-Adub Pastagem= N aplicado em cobertura no perfilhamento da pastagem no inverno; AA= manejo da pastagem em Alta altura do pasto; BA= manejo da pastagem em Baixa altura do pasto.

Apesar de, o milho silagem estudado no presente experimento não ter contido a inclusão subparcelas com doses crescentes de N em cobertura para ser

possível estimar uma curva crítica de diluição de N para corroborar com os resultados obtidos por Maccari (2016). Com o presente estudo foi possível contrastar os efeitos da adubação de sistemas e do manejo do pasto sobre o estado nutricional de N no milho após três anos de instalação do experimento. Por sua vez, o reflexo da nutrição nitrogenada do milho silagem pode ser visto na produção de MS ao final do cultivo do milho silagem, ou seja, na última coleta da parte aérea de plantas. Pois, na coleta aos 123 dias após a semeadura do milho (colheita do milho silagem), a produção de Mg ha⁻¹ de MS apresentou diferença significativa apenas para o manejo de Altura de pasto ($P < 0,0004$) (Anova anexo 55), com maior produção nas parcelas que a pastagem foi manejada em Alta Altura de pasto (15.830,90 Mg ha⁻¹ de MS) em relação a Baixa Altura de pasto (11.403,70 Mg ha⁻¹ de MS).

Diante disso, é visto que apesar das plantas de milho cultivadas nas parcelas N-Adubação Pastagem apresentaram concentrações de N menores conforme o desenvolvimento da cultura, no final do cultivo não houve diferença significativa sobre a produção de matéria seca para a silagem. Além disso, seria importante ter tido a inclusão de subparcelas com doses crescentes de N em cobertura no milho, para melhor visualizar os efeitos da adubação de sistemas.

Uma vez que, Maccari (2016) obteve por meio do uso da equação de Lemaire e Salette (1984) com a aplicação de doses crescentes de N em milho e de acordo com as Alturas de Pasto, gerou uma curva crítica de N ($N_{crit} = 3,33(MS)^{-0,37}$) próxima a curva proposta por Lemaire (1997) ($N_{crit} = 3,4(MS)^{-0,37}$). Ainda, Plénet e Lemaire (2000), Li et al., (2012) e Orioli Junior (2013) (no Sudeste brasileiro) obtiveram curvas crítica de diluição de N com parâmetros próximos aos de Maccari (2016), $N_{crit} = 3,40(MS)^{-0,37}$, $N_{crit} = 3,65(MS)^{-0,48}$, $N_{crit} = 3,21(MS)^{-0,31}$, respectivamente. Diferentemente dos parâmetros estimados no presente estudo, que foram menores ao observado na literatura.

4.4.2 Feijoeiro: Curva de diluição de nitrogênio

Na avaliação do estado nutricional nitrogenado do feijoeiro cultivado na safrinha do ano agrícola 2015/2016 (Fase III), após o cultivo de azevém no inverno

(Fase I) e milho para silagem no verão (Fase II), foram geradas curvas de diluição de nitrogênio com base no procedimento de regressões não lineares. Como esperado, a concentração de N nas plantas do feijoeiro reduziu com o crescimento das plantas (LEMAIRE; SALETTE, 1984) e, conseqüentemente houve aumento de biomassa. Com a finalidade de gerar a curva de diluição de N para o feijoeiro, em função da matéria seca acumulada (Mg ha^{-1}) e dos teores de N na parte aérea da planta (N%), foi agrupado o conjunto de dados dos tratamentos Tempo Adubação de N e Altura de Pasto (Figura 30).

Confrontando a curva de diluição de nitrogênio proposta por Lemaire e Salette (1984), para as espécies de planta C3 com as curvas de diluição geradas em cada dose de N para a cultura do feijoeiro (Figura 30), constata-se que todas as quatro doses de N em cobertura apresentaram teores de nitrogênio abaixo da curva crítica para plantas C3. Uma vez que, essas concentrações de N que não sustentariam adequado crescimento das plantas (LEMAIRE, 1997).

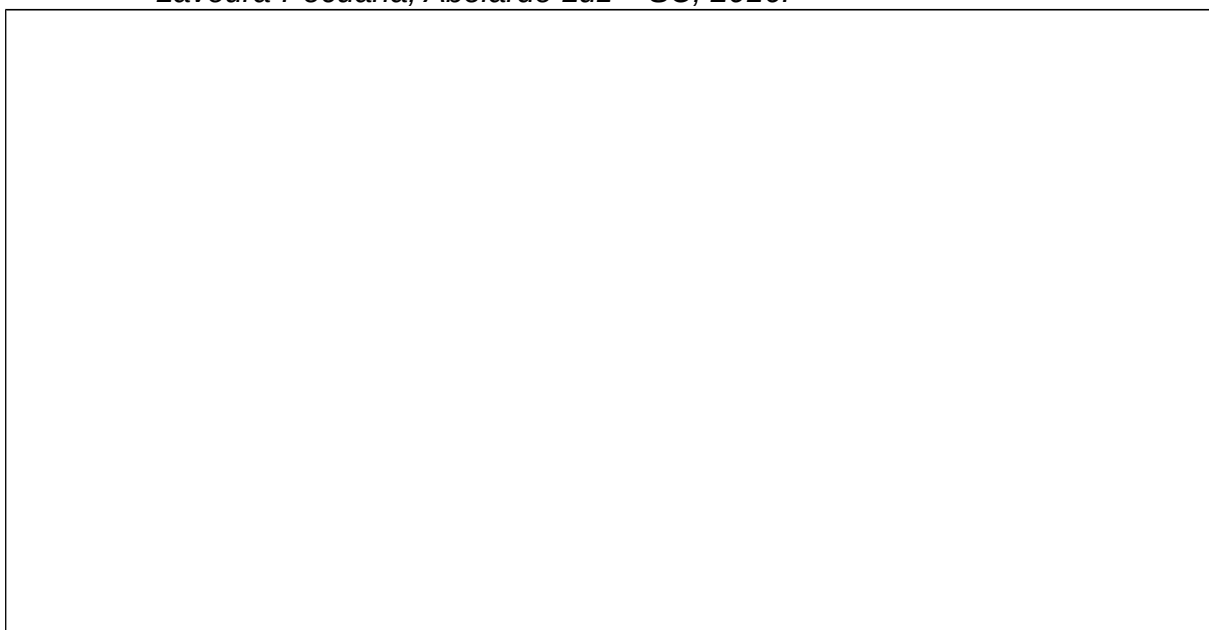
De acordo com Lemaire (1997), quando as concentrações de nitrogênio na planta estão sobre ou acima da curva de diluição calculada para a espécie, a planta está bem nutrida com N e pode estar sofrendo um consumo de “luxo”. Entretanto, se as concentrações de N na parte aérea estão abaixo da curva, a planta apresenta, teoricamente, deficiência de N e, assim, essas concentrações são consideradas limitantes ao crescimento das plantas e possivelmente ao rendimento de grãos.

Entretanto, avaliando a produtividade do feijoeiro na mesma fase do experimento, constatou-se que a máxima eficiência técnica foi obtida com a aplicação em cobertura de $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$ e houve redução de produtividade quando foram aplicados $150 \text{ kg de N ha}^{-1}$ (Figura 34). Desse modo, demonstra-se que mesmo com a curva de diluição da dose de $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$ estando abaixo da curva de diluição proposta para plantas C3, o feijoeiro manteve o adequado crescimento e rendimento de grãos, não apresentando deficiência de N.

Contudo, quando não foi aplicada adubação nitrogenada no estágio V4 de desenvolvimento do feijoeiro, a concentração de N em função da matéria seca acumulada esteve abaixo das demais curvas geradas para as doses crescentes de N (50 , 100 e $150 \text{ kg de N ha}^{-1}$). Desse modo, as plantas cultivadas sob este

tratamento estiveram sob maior deficiência de N, o que é confirmado pelo menor rendimento de grãos apresentado nessas parcelas ao final do cultivo do feijoeiro.

Figura 30 – Concentração de N no feijoeiro IAC Milênio de acordo com as doses crescentes de adubação nitrogenada em relação à massa seca acumulada para cada dose de N aplicada no estágio V4, comparada com a curva de diluição de nitrogênio para plantas C3 ($N_{crit} = 4,8MS^{-0,32}$) proposta por Lemaire e Salette (1984), em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz – SC, 2016.



Legenda: 0 N= dose 0 kg de N ha⁻¹, subparcela que não recebeu adubação em cobertura de N no estágio V4 do feijoeiro em safrinha; 50 N= dose de 50 kg de N ha⁻¹ aplicado em cobertura em subparcela no cultivo do feijoeiro; 100 N= dose de 100 kg de N ha⁻¹ aplicado em cobertura em subparcela no cultivo do feijoeiro; 150 N= dose de 150 kg de N ha⁻¹ aplicado em cobertura em subparcela no cultivo do feijoeiro;

Todavia, o feijoeiro é uma leguminosa que possui a capacidade de realizar simbiose com os microrganismos no solo, neste caso o rhizobium. É provável que a cultura armazene uma parte do N incorporada em suas raízes, provindos da fixação biológica de nitrogênio (FBN). Portanto, contrariamente às demais espécies de plantas C3 a reserva de N nas raízes do feijoeiro tem um papel mais preponderante no seu crescimento e desenvolvimento.

Ainda, por ser uma planta leguminosa granífera o feijoeiro tem a possibilidade de modificar o padrão de diluição N, devido o crescimento de vagens e grãos que alocam uma alta concentração de N após a floração (NEY et al., 1997), como é visualizada com a atenuação dos teores de N em relação à matéria seca acumulada a partir de 2 Mg ha⁻¹ de MS acumulada até o final da curva de diluição (Figura 30). Contudo, essa relação do teor de N com o crescimento da planta e

formação de vagens são dependentes da quantidade de grãos que a planta produzir (NEY et al., 1997). Por sua vez, a maior diferença entre os parâmetros está no teor de N das plantas que não receberam adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro em relação as demais doses, principalmente a de 100 e 150 kg de N ha⁻¹. Com o uso da equação $N\% = a (MS)^{-b}$ proposta por Lemaire e Salette (1984), para obter as curvas de diluição de N, obteve-se a relação entre concentração de N na parte aérea da planta e matéria seca acumulada. Na tabela 5, o parâmetro a corresponde a quantidade de N que a planta necessita absorver para produzir 1 Mg ha⁻¹ de MS e o parâmetro b representa a velocidade de diluição de N na planta durante seu crescimento.

De modo geral, de todos os valores observados para o parâmetro a (Tabela 5), apresentaram maiores valores nas parcelas que receberam adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro (Fase III) em comparação com as demais parcelas. Isso demonstra o desempenho fundamental da expansão foliar na absorção de N disponível no solo durante o crescimento vegetativo, que posteriormente será translocado para o enchimento de grãos. Uma vez que, as doses crescentes de nitrogênio em cobertura no feijoeiro influenciam o acúmulo de matéria seca, com crescimento intenso conforme aumento da dose de N, principalmente, após os primeiros 30 dias após a semeadura e início da floração (SANT'ANA; SILVEIRA, 2008). Segundo os mesmos autores, índices fisiológicos do feijoeiro se comportam diferentemente em função de doses crescentes de N, apresentando maiores valores em plantas com maior suprimento de nitrogênio.

Tabela 4 – Estimativas dos parâmetros a e b do modelo $\% N = a (MS)^{-b}$, afetadas pelas doses crescentes de N (0, 50, 100 e 150 kg de N ha⁻¹) em cobertura no feijoeiro IAC Milênio em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2016. UTFPR, Pato Branco, PR, 2018.

Dose adubação nitrogenada kg ha ⁻¹	Parâmetros		R ² ajustado
	a	b	
0	2,96	0,22	0,74
50	3,23	0,27	0,84
100	3,40	0,22	0,76
150	3,54	0,19	0,73

Contudo, com maior fornecimento de N ocorrerá maior crescimento e

desenvolvimento das plantas, bem como, sua expansão foliar, o que aumentará o auto-sombreamento das folhas inferiores e tenderá a diminuir a área foliar devido à senescência dessas folhas (SANT'ANA; SILVEIRA, 2008). Nesse estudo, Sant'Ana e Silveira (2008), observaram o maior índice de área foliar na dose de 120 kg de N ha⁻¹ no início do enchimento de grãos, que ao final do cultivo influenciou no rendimento de grãos, que apresentou correlação positiva de rendimento de grãos com duração da área foliar.

Do mesmo modo, é observado que na avaliação do estado nutricional do feijoeiro houve uma redução do teor de N até o acúmulo de 2 Mg MS ha⁻¹, estabilizando a diluição após esse acúmulo (Figura 30). Processo que ocorre provavelmente em função da cinética de crescimento dos componentes vegetativos e reprodutivos do feijoeiro. Assim, o fornecimento de N para o enchimento de grãos é efetuado por meio da remobilização do N nos tecidos foliares, caulinares e das raízes, de tal modo, o adequado fornecimento de N no período vegetativo é importante para o adequado desenvolvimento dos tecidos, que posteriormente fornecerá o N para o enchimento de grãos (Maccari, dados não publicados).

Por mais que, alguns estudos de fixação biológica de N (FBN) em feijoeiro não tenham obtido sucesso em aumento de produtividade, principalmente, pelo ciclo rápido de cultivo, os mesmos não relatam teores de nitrogênio fixado e quanto é mantido no sistema radicular das plantas. Nesse contexto, quando a curva de diluição de nitrogênio é aplicada em plantas leguminosas como o feijoeiro, utilizando apenas a matéria seca da parte aérea, não se tem acesso aos teores de nitrogênio armazenado nas raízes. Uma vez que, o conhecimento com a FBN em relação a um gradiente de disponibilidade de N no solo em comparação com boa nodulação torna complexa avaliação do estado nutricional de leguminosas fixadoras de N (soja, feijoeiro) (DIVITO et al., 2016).

Todavia, em avaliação do estado nutricional de cultivares de soja, Divito et al. (2016) constaram que o modelo empírico gerado da curva crítica de diluição de N ($N\% = 3,5 - 3,9 MS - 0,06 - -0,09$) foram menores que de outras leguminosas, como alfafa ($N\% = 5,08 MS - 0,32$; LEMAIRE et al., 1985) e ervilha ($N\% = 4,8 MS - 0,33$; NEY et al., 1997), além dos parâmetros genéricos propostos por Greenwood et al. (1990) para espécies de plantas C3 ($N\% = 5,67 MS - 0,5$). Os autores relatam que a curva de

diluição na soja foi atenuada pelo acúmulo precoce do teor de N em vagens, ou seja, durante o seu crescimento a planta já vai alocando N na vagem mantendo esse N na parte aérea e não ocorrendo uma diluição “normal” como visto em outras plantas C3, devido a floração precoce, conforme destacado por Ney et al. (1997). Desse modo, quando comparada a curva crítica de diluição de N de leguminosas granífera com as que não produzem vagens e grãos, como a alfafa, estas espécies seguem o padrão geral da curva descrito para as plantas C3.

4.4.3 Determinação da curva crítica de nitrogênio no Feijoeiro

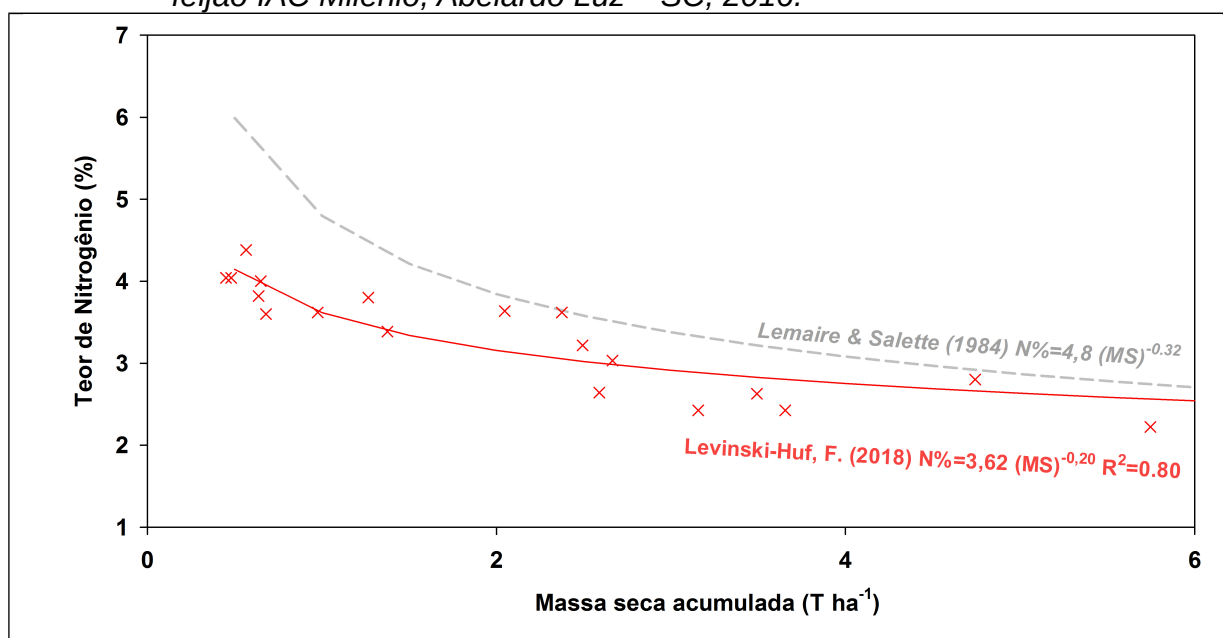
Apesar de vários estudos já terem apresentado curvas de diluição de N para espécies de plantas C3 e C4 (LEMAIRE; SALETTE, 1984; GREENWOOD et al., 1990; LEMAIRES, 1997; NEY et al., 1997; PLÉNET; LEMAIRES, 2000; LI et al., 2012; SARTOR et al., 2014; DIVITO et al., 2016), poucos são os estudos no Brasil referente a curva crítica de diluição de N para espécies de planta C3 leguminosas granífera em sistema de ILP. Dessa forma, afim de aprofundar a diagnose do estado nutricional de nitrogênio em plantas leguminosa granífera, se estabeleceu no experimento com ILP de longa duração em sistema de plantio direto o cultivo de feijoeiro em safrinha após o milho silagem.

A curva crítica de diluição de N é determinada pelo aumento dos níveis de adubação nitrogenada para encontrar a concentração mínima de N que maximiza a biomassa da cultura (GASTAL; LEMAIRES, 2002). Desse modo, vinte e oito pontos críticos dos dados experimentais da Fase III (feijoeiro) da combinação entre os níveis de tempo de adubação de N e altura de pasto, que apresentaram maiores teores de N% em cada data de coleta, e aqueles com uma biomassa de parte aérea $\geq 0,48 \text{ t MS ha}^{-1}$, foram selecionados para estimar os parâmetros “a” e “b” da curva crítica de diluição de N para o feijoeiro cultivado em safrinha sob sistema de ILP de longa duração, $N_{\text{crítico}} (N_c) = 3,62 \text{ MS}^{-0,20}$ (Figura 31). Este modelo representou 80% da variância total. A curva crítica de diluição de N proposta por Lemaire e Salette (1984) apresenta maiores teores de N em relação a MS acumulada durante todo período de amostragem, em comparação com a curva crítica de diluição de N

gerada nesse experimento.

Especificamente para o feijoeiro não foi possível obter resultados e encontrar referências bibliográficas para curvas críticas de diluição de N. Apenas Greenwood et al. (1990), em análise de várias espécies de plantas C4 e C3, propuseram parâmetros genéricos para o modelo de curva crítica de diluição de N englobando todas as espécies de plantas C3 estudadas ($N\%=5,67 MS^{-0,5}$).

Figura 31 – Curva crítica de diluição de nitrogênio para o feijão de acordo com as doses de adubação nitrogenada e a massa seca acumulada na cultura de feijão IAC Milênio, Abelardo Luz – SC, 2016.

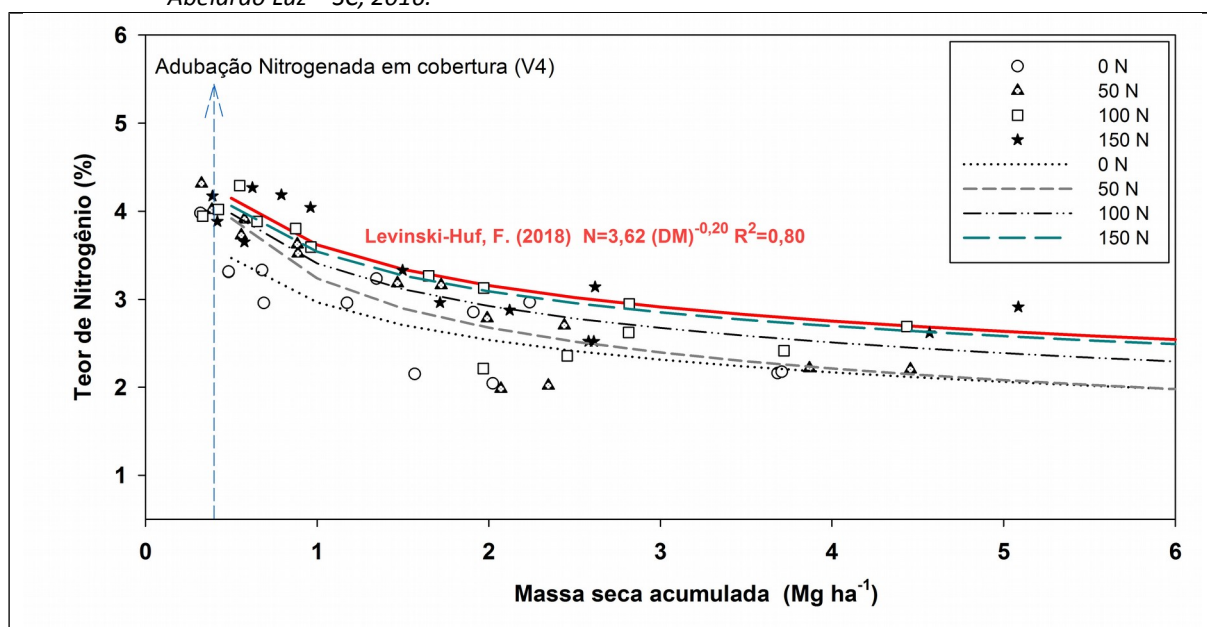


Desse modo, a curva crítica de diluição de N estimada nesse experimento apresenta valores dos parâmetros menores que observados para espécies de plantas C3 (Figura 31). Porém, próximos aos relatados em avaliação do estado nutricional nitrogenado em diferentes cultivares de soja ($(N\%=3,5 - 3,9 MS^{-0,06 - 0,09}$; DIVITO et al., 2016). Assim, é possível inferir que há diferenças maiores entre os parâmetros gerados entre espécies C3, não podendo generalizar dentro de um vasto grupo, principalmente quando tratar-se de leguminosas produtoras de grãos. Sugere-se a diferenciação entre espécies C3 leguminosas, produtoras de grãos e vagens e fixadoras de N. grãos e vagens e fixadoras de N.

Por outro lado, contrastando a curva crítica de diluição de N para o

feijoeiro proposta nesse experimento (Figura 31) com as curvas de diluição geradas para cada dose crescente de N aplicadas em cobertura em subparcelas alocadas no feijoeiro safrinha (Figura 32), ao contrário do esperado, observa-se que apenas a curva de diluição de N para a dose de 150 kg ha⁻¹ de N aproxima-se da curva crítica de diluição de N e dos valores estimados para os parâmetros a e b (Tabela 6).

Figura 32 – Concentração de N no feijoeiro IAC Milênio de acordo com as doses crescentes de adubação nitrogenada em relação à massa seca acumulada para cada dose de N aplicada no estágio V4, comparada com a curva de diluição de nitrogênio proposta para o feijoeiro ($N_{crit} = 3,62 \text{ MS}^{-0,20}$) neste trabalho, em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz – SC, 2016.



Legenda: 0 N= dose 0 kg de N ha⁻¹, subparcela que não recebeu adubação em cobertura de N no estágio V4 do feijoeiro em safrinha; 50 N= dose de 50 kg de N ha⁻¹ aplicado em cobertura em subparcela no cultivo do feijoeiro; 100 N= dose de 100 kg de N ha⁻¹ aplicado em cobertura em subparcela no cultivo do feijoeiro; 150N= dose de 150 kg de N ha⁻¹ aplicado em cobertura em subparcela no cultivo do feijoeiro;

Todavia, esperava-se que as curvas de diluição de N geradas para as doses crescentes de N de 100 e 150 kg ha⁻¹ ficassem sobrepostas a curva crítica de diluição de N estimada para o feijoeiro nesse experimento. Uma vez que, a maior produtividade de grãos foi observada na dose de 100 kg ha⁻¹ de N (Figura 34) e os maiores teores de N-NO₃ no solo quinze dias após a adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro foram observados na dose de 150 kg ha⁻¹ de N (Figura 14), o que possivelmente contribuiria para um “consumo de luxo” da planta.

Com base no estudo de Lemaire e Salette (1984) as plantas de feijoeiro cultivadas no presente estudo estariam abaixo da curva crítica de diluição

de N, assim possivelmente apresentariam deficiência de N para atingir sua produtividade adequada. Desse modo, é importante ressaltar que na avaliação do teor de N na MS da parte aérea da planta de feijoeiro houve interação entre as datas de coleta após a semeadura e as doses crescentes de N ($P < 0,0001$) (Anova anexo 56), demonstrando que o teor de N na planta na coleta anterior a aplicação de N em cobertura no feijoeiro não apresentava diferença entre as doses crescentes de N ($N\% = 3,97; 4,08; 3,98$ e $3,94$ para as doses de N 0; 50; 100 e 150, respectivamente). Houve diferença significativa apenas nas duas coletas posteriores, sete e dezesseis dias após a adubação em cobertura de N no feijoeiro, em que as plantas que receberam 100 e 150 $kg\ ha^{-1}$ de N mantiveram os teores de $N\%$ maiores que as demais doses, diluindo em menor velocidade com o aumento da MS acumulada, conforme visualizado da Tabela 6. Assim, demonstrando a disponibilidade de N no solo para absorção das plantas na fase inicial de seu desenvolvimento nas subparcelas com as doses de N 100 e 150 $kg\ ha^{-1}$, já que na amostragem dezesseis dias após a adubação em cobertura as plantas do feijoeiro encontravam-se no estágio R5 (pré-floração), logo passando para floração e enchimento de grãos, em que cresce a diluição de N na planta devido a translocação para os órgãos reprodutivos.

Entretanto, foram geradas curvas de diluição de N em cada dose crescente de N em cobertura no feijoeiro em função dos dois níveis de tempo de adubação de N, N-Adubação Grão e N-Adubação Pastagem, para confrontar com a curva crítica de diluição de N estimada para o feijoeiro nesse experimento (Figura 33).

Tabela 5 – Estimativas dos parâmetros a e b do modelo $\% N = a (MS)^{-b}$, afetadas pelas doses crescentes de N (0, 50, 100 e 150 $kg\ de\ N\ ha^{-1}$) em cobertura no feijoeiro IAC Milênio em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2016. UTFPR, Pato Branco, 2018.

Dose adubação nitrogenada $kg\ ha^{-1}$	Parâmetros		R^2 ajustado
	a	b	
0	2,96	0,22	0,74
50	3,23	0,27	0,84
100	3,40	0,22	0,76
150	3,54	0,19	0,73

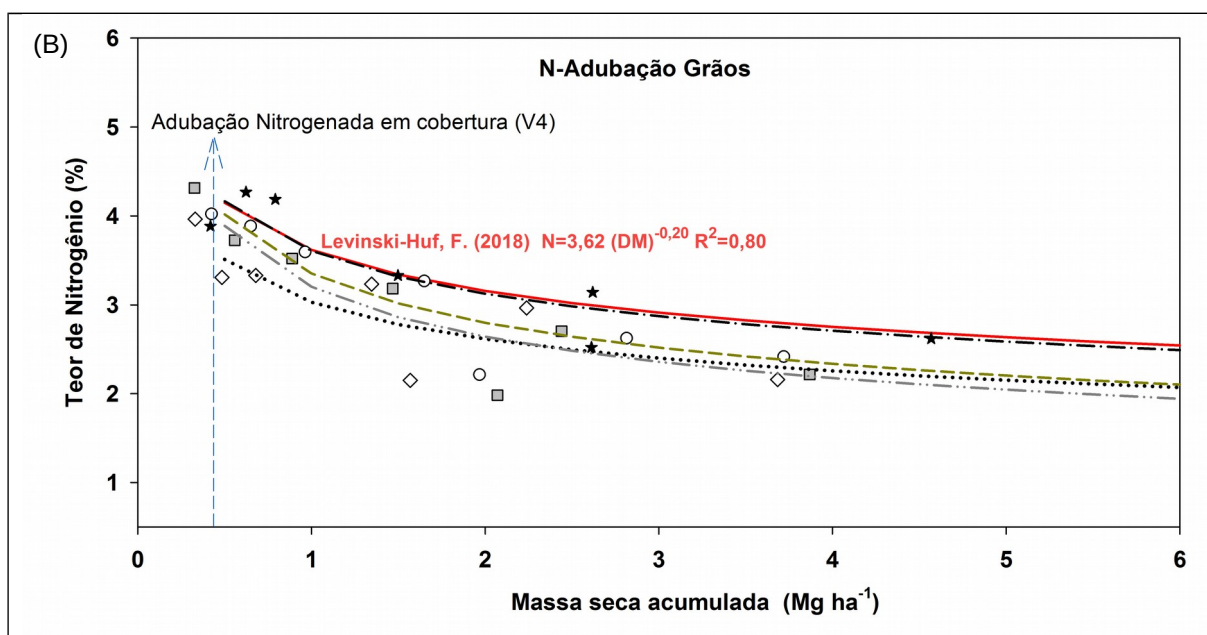
No tratamento em que o N foi aplicado em cobertura na fase pastagem (N-Adubação Pastagem), nenhuma das doses crescentes de N atingiram o nível

crítico do estado nutricional nitrogenado da planta em relação a curva crítica de diluição gerada para o feijoeiro (Figura 33 A). Porém, as curvas de diluição de n geradas para as doses crescentes de 100 e 150 kg de ha⁻¹ de N apresentam-se na mesma curva gerada, com os parâmetros estimados próximos (Tabela 9), esse pode ser o resultado de que mesmo com os teores de N (%) no feijoeiro abaixo do essencial nessas doses de N, o tratamento N-Adubação Pastagem pode ter propiciado um ambiente mais homogêneo em relação aos teores de N mineral no solo, já que não ocorre o mesmo comportamento para os teores de N no tratamento N-Adubação Grãos (Figura 33 B).

Figura 33 – Concentração de N no feijoeiro IAC Milênio em função do tempo de adubação nitrogenada (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) em relação à massa seca acumulada para cada dose de N aplicada no estágio V4, comparada com a curva de diluição de nitrogênio proposta para o feijoeiro ($N_{crit} = 3,62MS^{-0,20}$) neste trabalho, em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz – SC, 2016.

(A)





Legenda: 0 N= dose 0 kg de $N\ ha^{-1}$, subparcela que não recebeu adubação em cobertura de N no estágio V4 do feijoeiro em safrinha; 50 N= dose de 50 kg de $N\ ha^{-1}$ aplicado em cobertura em subparcela no cultivo do feijoeiro; 100 N= dose de 100 kg de $N\ ha^{-1}$ aplicado em cobertura em subparcela no cultivo do feijoeiro; 150N= dose de 150 kg de $N\ ha^{-1}$ aplicado em cobertura em subparcela no cultivo do feijoeiro;

Visto que, no tratamento que não recebeu adubação nitrogenada na Fase I (pastagem), mas recebeu N em cobertura na Fase II (milho silagem), a concentração de N no feijoeiro atingiu o nível crítico quando foi aplicado 150 kg ha^{-1} de N no estágio V4, uma vez que, a adubação em cobertura de 50 e 100 kg ha^{-1} de N não foram suficientes para atingir o estado nutricional adequado (Figura 33 B).

Os parâmetros estimados (a e b) para cada dose de N no tratamento N-Adubação Pastagem apresentaram menores valores em relação ao tratamento N-Adubação Grãos (Tabela 7), exceto na dose 0 kg ha^{-1} de N, em que o parâmetro b foi maior no tratamento N-Adubação Pastagem demonstrando maior velocidade de diluição do N absorvido conforme a produção acumulada de MS.

Tabela 6 – Estimativas dos parâmetros a e b do modelo $\% N = a (MS)^{-b}$, afetadas pelas doses crescentes de N (0, 50, 100 e 150 kg de $N\ ha^{-1}$) em cobertura no feijoeiro IAC Milênio em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2016. UTFPR, Pato Branco, 2018.

Dose adubação nitrogenada $kg\ ha^{-1}$	Parâmetros		R^2 ajustado
	a	b	
	N-Adubação Pastagem		
0	2,90	0,24	0,80
50	3,27	0,27	0,82
100	3,47	0,19	0,74

150	3,48	0,19	0,68
N-Adubação Grãos			
0	3,03	0,21	0,65
50	3,20	0,28	0,83
100	3,35	0,26	0,79
150	3,61	0,21	0,74

Contudo, é observado que a diluição de N no feijoeiro ocorre em maior velocidade com o aumento de MS acumulada no tratamento N-Adubação Grãos nas doses de 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N.

4.3 Produção de matéria seca e Produtividade de grãos de plantas

4.3.1 Fase I: Produção de Forragem Total do Azevém

Na pastagem de azevém, inverno de 2015 (Fase I), cultivada após a soja, foi constatado efeito significativo de interação entre o Tempo de Adubação de N e a Altura de Pasto ($P < 0,0022$) (Anova anexo 57) (Tabela 8).

O uso da adubação nitrogenada em cobertura no perfilhamento da pastagem de azevém proporcionou maior produção de forragem total ao final do pastejo quando o azevém foi manejado em Alta Altura de pasto (Tabela 8). O manejo em Alta Altura de pasto a 25 cm de altura manteve menor carga animal durante o período de pastejo, menor quantidade de animais por área, o que reduz a desfolha da planta e o aporte de esterco e urina, porém, proporciona maior quantidade de material vegetal cobrindo o solo. Por sua vez, a adubação nitrogenada proporciona maior perfilhamento do azevém influenciando na produção de forragem total ao final do pastejo. Uma vez que, os principais fatores que afetam o perfilhamento são a temperatura, luz, nutrição mineral e o suprimento de água (PEDREIRA et al., 2001).

O manejo da pastagem em baixa altura de pasto apresentou menor produção de forragem ao final do pastejo quando o azevém recebeu adubação e N em cobertura (Tabela 8). Esse resultado pode ter sido provocado pela intensa desfolha da planta devido a maior carga animal suportada nessas parcelas que

foram manejadas a 10 cm de altura (Baixa Altura de pasto). Além disso, o tempo de Adubação de N, ou seja, a estratégia de adubação de sistemas não promoveu diferenças na produção de MS do azevém para o manejo Baixa Altura de pasto (Tabela 8).

Tabela 7 – Produção de Forragem Total de Azevém, Fase I inverno de 2015, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e do manejo da Altura de Pasto na pastagem cultivada no inverno de 2015 (Alta Altura e Baixa Altura), em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2015. UTFPR, Pato Branco, 2018.

Tempo de Adubação de N	Altura de Pasto		Média
	Alta Altura	Baixa Altura	
	----- (kg de MS ha ⁻¹) -----		
N-Adubação Pastagem	7.071 Aa	4.669 Ab	5.870
N-Adubação Grãos	3.859 Ba	4.715 Aa	4.287
Média (kg de MS ha ⁻¹)	5.465	4.692	5.079

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na vertical e minúscula na horizontal, não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro, pelo teste LSD. CV = 10,40 %. Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos; Alta Altura de Pasto: manejo da pastagem à 25 cm de altura; Baixa Altura de Pasto: manejo da pastagem à 10 cm de altura. MS= matéria seca (kg ha⁻¹).

Por vez, Assmann et al. (2004) em avaliação de pastagem consorciada de aveia + azevém com leguminosa de estação fria e adubação nitrogenada em cobertura na pastagem, observaram influencia positiva do uso de nitrogênio em cobertura no maior acúmulo diário e produção total de matéria seca da pastagem, bem como, da possibilidade de manter maior carga animal e ganho de peso vivo por hectare.

Todavia, foi constatado menor produção de forragem total quando a pastagem de azevém não recebeu adubação nitrogenada no perfilhamento no manejo de Alta Altura de pasto, em relação as parcelas que receberam adubação nitrogenada (Tabela 8). Visto que, o nitrogênio proporciona à planta maior produção de biomassa, maior produção de perfilho por planta e melhora a qualidade da pastagem por proporcionar um aumento na percentagem de folhas, material de melhor digestibilidade, menos fibroso e mais palatável para os animais em relação ao colmo (CASSOL et al., 2011).

Enfim, pastos manejados com alturas adequadas, como no caso do tratamento Alta Altura de pasto, podem resultar em incrementos na produção total de forragem da pastagem, uma vez que, cada centímetro remanescente da planta pode contribuir com até 100 kg MS ha⁻¹ (MACCARI et al., 2011). Desse modo, a utilização

de N em pastagens de inverno contribui para aumentar a produção forrageira, a produção dos animais em pastejo, e a produção de grãos das culturas em sucessão (SANDINI et al., 2011). Logo, é necessário o correto manejo da pastagem para uma maior eficiência no uso deste nutriente.

4.3.2 Fase II: Produção de Matéria Seca do Milho silagem

Para a produção de Matéria Seca total do milho silagem, Fase II (verão 2015/201), cultivado após a pastagem de azevém no inverno 2015, foi constatado efeito significativo apenas da Altura de Pasto ($P < 0,0004$) (Anova anexo 58).

Nas parcelas em que a pastagem foi manejada em Alta Altura de pasto foi observado maior produção de matéria seca acumulada (kg ha^{-1}) ao final do cultivo de milho para silagem (Tabela 9). Desse modo, as plantas de milho silagem cultivadas nas parcelas que receberam o tratamento Alta Altura do pasto tiveram um maior aporte de palhada residual ($4.263,44 \text{ kg ha}^{-1} \text{ MS}$) sobre o solo em relação o manejo de Baixa Altura do pasto ($2.278,02 \text{ kg ha}^{-1} \text{ MS}$), assim, proporcionando um ambiente com disponibilidade de N no solo por maior tempo, provindo da decomposição ao longo do cultivo do milho dos resíduos da pastagem nas parcelas manejadas em Alta Altura de pasto.

Uma vez que, o nitrogênio é o nutriente mais demandado pela cultura do milho devido a alta eficiência de conversão da radiação em biomassa, assim sendo essencial para o crescimento e desenvolvimento do milho (BORTOLLI, 2016). Além disso, Alvares et al. (2015) em estudo de influencia da adubação nitrogenada antecipada em azevém pastejado por ovinos sobre a nutrição nitrogenada do milho no verão, constaram que biomassa residual da fase pastagem é importante fonte de nitrogênio para a cultura de verão em sucessão em sistemas integrados de produção agropecuária. E as menores intensidades de pastejo resultam em maior massa de forragem residual e, conseqüentemente, em maiores índices de nutrição nitrogenada para a cultura do milho em sistemas com eficiência de nitrogênio (ALVES et al., 2015).

Tabela 8 – Produção de Matéria Seca do Milho Silagem, Fase II verão 2015/2016, em função do manejo da Altura de Pasto na pastagem cultivada no inverno de 2015 (Alta Altura e Baixa Altura), em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2015/2016. UTFPR, Pato Branco, 2018.

Altura de Pasto	Média (kg de MS ha ⁻¹)
Alta altura	15.830,90 A
Baixa Altura	11.403,70 B
Média (kg de MS ha ⁻¹)	13.617,30

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na vertical, não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro, pelo teste LSD. CV = 24,03 %. Legenda: Alta Altura de Pasto: manejo da pastagem à 25 cm de altura; Baixa Altura de Pasto: manejo da pastagem à 10 cm de altura; MS= matéria seca (kg ha⁻¹).

Além disso, o fato do tratamento de tempo de adubação de N não ter influenciado na produção de MS do milho silagem, demonstra o efeito residual do N provindo da ciclagem do nitrogênio aplicado em cobertura na pastagem de azevém. Pois, a ciclagem de nutrientes proporciona o efeito residual do N da fase de pastejo para a cultura subsequente do mesmo modo que encontrado em outros trabalhos (ASSMANN et al., 2003; SANDINI et al., 2011).

Ainda, SCHNEIDER (2008) em avaliação da produção de silagem de milho após pastagem consorciada de inverno em sistema de ILP testando doses cresce de N no inverno (pastagem) e no verão (milho), constatou que a utilização de 100 kg ha⁻¹ N na pastagem de inverno, em áreas pastejadas, permite a produção de milho para silagem com ausência de fertilização nitrogenada no milho, como também melhor equilíbrio no fornecimento de nitrogênio para a produtividade de matéria seca.

Deste modo, é visto que a adubação nitrogenada em cobertura no milho (200 kg ha⁻¹ de N) em parcelas que não receberam adubação nitrogenada na pastagem (N-Adubação Grãos), não foi suficiente para proporcionar uma maior produção de MS do milho silagem (14.298,90 kg de MS ha⁻¹). Assim, enfatizando o efeito residual do N aplicado em cobertura na pastagem que em conjunto com o pastejo, devido a ciclagem de nutrientes, pode proporcionar um adequado estado nutricional para a manutenção da produção de MS do milho silagem (12.935,80 kg de MS ha⁻¹).

4.3.3 Fase III: Produtividade do Feijoeiro em safrinha

Para a avaliação da produtividade da cultivar de feijão carioca IAC Milênio após o cultivo do milho silagem na safra de 2015/2016, a análise de variância apresentou efeito significativo apenas para as doses crescentes de N, aplicadas nas sub parcelas em cobertura no feijão ($P < 0,0041$) (Figura 34) (Anova anexo 59).

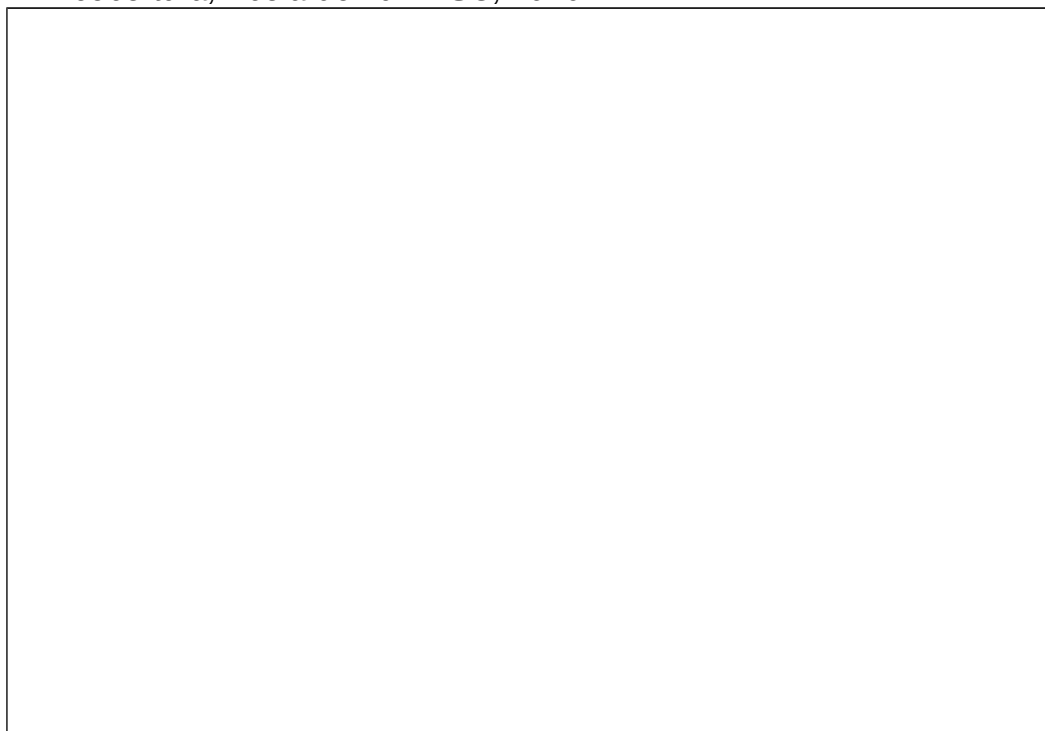
Independente dos tempos de adubação de N e da altura de pasto à produtividade de grãos do feijão safrinha teve sua máxima eficiência técnica quando aplicado $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$ em cobertura neste cultivo de safrinha ($2.100 \text{ kg de grãos ha}^{-1}$). Desse modo, é visto que há necessidade de adubação de N na cultura do feijão para obtenção de maiores produtividades quando cultivado em safrinha.

Entretanto, quando as doses ultrapassam a necessidade da cultura a produtividade reduz, principalmente, devido ao seu maior crescimento em altura e de produção de matéria verde, conduzindo ao acamamento do feijão e redução de sua produtividade.

Embora o cultivo de feijão safrinha fosse posterior ao milho silagem, este que quebrou a cinética da ciclagem de nutrientes devido à retirada de todo material vegetal produzido na área naquele período. É visto que, a memória do solo sobressaiu ao efeito da adubação nitrogenada na cultura do milho nas parcelas N-Adubação grãos. Ou seja, mesmo com a aplicação de $200 \text{ kg de N ha}^{-1}$ nas parcelas N-Adubação grãos no milho e $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$ no feijão safrinha, as mesmas não obtiveram produtividades médias diferentes das parcelas N-Adubação Pastagem, que receberam nitrogênio apenas durante o cultivo de azevém no inverno 2015.

O manejo da pastagem em baixa altura de pasto apresentou menor produção de forragem ao final do pastejo quando o azevém recebeu adubação e N em cobertura (Tabela 8). Esse resultado pode ter sido provocado pela intensa desfolha da planta devido a maior carga animal suportada nessas parcelas que foram manejadas a 10 cm de altura (Baixa Altura de pasto). Além disso, o tempo de Adubação de N, ou seja, a estratégia de adubação de sistemas não promoveu diferenças na produção de MS do azevém para o manejo Baixa Altura de pasto (Tabela 8).

Figura 34 – Rendimento de grãos (kg ha^{-1}) de *Feijoeiro cultivar IAC Milênio na safrinha 2016, em função de doses crescentes de Nitrogênio aplicados em cobertura, Abelardo Luz – SC, 2016.*



Legenda: Doses crescentes de N: 0, 50, 100 e 150 kg de ha^{-1} de N aplicados em ambos os níveis do tratamento Tempo de Adubação de N.

Esse resultado confirma o menor requerimento de nitrogênio (N) pela cultura de feijão, estando atrelado as doses altas de nitrogênio acarretarem maior crescimento e/ou investimento da planta em produção de biomassa (caule, folhas), ocasionando o acamamento de plantas e redução de rendimento de grãos, como visualizado na dose de 150 kg de N ha^{-1} . Todavia, a cultivar de feijão IAC Milênio, do grupo carioca, tem recomendação máxima de 90 kg de N ha^{-1} , pois, pode ocorrer o “travamento da planta” por seu elevado crescimento vegetativo e não chegar ao seu rendimento de grãos médio de 2.831 kg ha^{-1} (LOIOLA, 2015).

Outro ponto a ressaltar é que as parcelas que receberam 200 kg de N ha^{-1} durante o cultivo de azevém no inverno 2015 e as que receberam a mesma quantidade de adubação nitrogenada somente no cultivo de milho para silagem 2015/2016, obtiveram o mesmo rendimento de grãos quando se fez o uso de 100 kg de N ha^{-1} no cultivo de feijão safrinha após o milho silagem. São fatos que

demonstram o efeito residual do nitrogênio aplicado na pastagem, uma vez que, a mesma produz maior quantidade de biomassa de qualidade, com relação C/N menor. Ainda, há o favorecimento da atividade biológica do solo havendo mineralização de N ao longo do tempo, maximizando a ciclagem de nutrientes. Além disso, a maior produção de biomassa permite a manutenção de maior carga animal fazendo com que haja maior aporte de dejetos de animais (fezes e urina) por área, aumentando a diversidade biológica do solo e mantendo a memória do mesmo.

Ainda, a produção de milho para silagem de planta inteira desequilibrou o sistema de aporte de resíduos e de certa forma a ciclagem de nutrientes, deixando o solo descoberto para o cultivo de feijão safrinha, podendo ser um dos reflexos para o rendimento médio geral dos tratamentos de 1840 kg ha⁻¹. Por outro lado, é visualizada a resiliência da biota do solo no aumento de rendimento de grãos diante da aplicação de doses crescentes de nitrogênio no cultivo de feijão safrinha.

Num estudo de sistema de integração lavoura-pecuária com ovinos e cultivo de feijão após a pastagem de inverno com azevém + aveia preta, foi observado influência do nitrogênio aplicado durante o inverno independente de doses. Entretanto, quando há aplicação de doses crescentes de nitrogênio em cobertura no feijão, a cultura responde com aumento de rendimento de grãos até a máxima eficiência técnica na dose de 170 (sob pastejo) e 163 (sem pastejo, na cultura) kg de N ha⁻¹ (REICHERT, 2012).

Também, Bona Filho (2002) avaliou a influência do pastejo e a contribuição da adubação nitrogenada residual da pastagem de inverno (aveia + azevém + trevo branco) no rendimento de feijão, evidenciando que a presença dos animais em pastejo não reduziu a produtividade do feijão. Além disso, o autor observou que a melhor combinação de aplicação do N para maiores rendimentos animal e vegetal, é com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ na pastagem e 80 a 120 kg ha⁻¹ na cultura do feijão. Desse modo, é possível afirmar o efeito positivo da adubação de sistemas em integração lavoura-pecuária para a transferência de N da pastagem para a cultura de verão.

Nesse sentido, “a memória do solo”, retratou nas parcelas N-Adubação Pastagem a ciclagem de nutrientes ao longo do tempo, em que essas estão recebendo adubação nitrogenada e incremento na deposição de urina e fezes

devido a maior capacidade de carga animal, fazendo com que a microbiota do solo seja ativada, ciclando o N para culturas sucessoras.

Por fim, a ensilagem do milho retirando a planta inteira, impossibilitou de certa forma a ciclagem de nutrientes provindas das parcelas N-Adubação Grãos, que receberam nitrogênio durante o cultivo do milho. Desse modo, essas parcelas não mantiveram uma memória do solo capaz de aumentar o rendimento de grãos do feijão safrinha aquém das parcelas N-Adubação Pastagem.

Por outro lado na avaliação de componentes de rendimento do feijoeiro cultivar carioca IAC Milênio após o cultivo do milho silagem na safra de 2015/2016, para o Peso de Mil Grãos constatou-se efeito significativo apenas para o Tempo de Adubação de N ($P < 0,0169$) (Anova anexo 60). Ao contrário do esperado, foi observado maior peso de mil grãos nas parcelas que receberam adubação nitrogenada na pastagem (N-Adubação Pastagem) em relação as parcelas que não foram adubadas com N em cobertura na pastagem (N-Adubação Grãos) (Tabela 10), não havendo influencia das doses crescentes de N aplicadas em cobertura no feijoeiro.

O rendimento de grãos obtido em função das doses crescentes de N (Figura 34) é reflexo da resposta dos componentes de rendimento aos tratamentos, por isso, esperava-se efeito das doses de N no peso de mil grãos. Esses resultados corroboram com os observados por Bona Filho (2002), em também não observou efeito significativo de doses crescentes de N aplicadas na pastagem e na cultura do feijoeiro sobre o peso de mil grãos. Segundo Soratto et al. (2004), a aplicação de N em cobertura no feijoeiro não reflete em grande variação de grãos por vagem e na massa de mil grãos.

Tabela 9 – Componente de Rendimento, Peso de Mil Grãos do Feijoeiro, Fase III verão 2016, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos), em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2016. UTPFR, Pato Branco, 2018.

Tempo de Adubação de N	Média (g)
N-Adubação Pastagem	270,24 A
N-Adubação Grãos	261,39 B
Média (kg de MS ha ⁻¹)	265,82

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na vertical, não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro, pelo teste LSD. CV = 5,14%. Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos;

Todavia, esse resultado de maior peso de mil grãos nas parcelas N-Adubação Pastagem demonstra que as plantas de feijoeiro podem ter tido um melhor ambiente nutricional no solo no sistema ILP, provindo da Fase I. Uma vez que, o feijoeiro sucedeu a ensilagem do milho que de certa forma teve a interface da ciclagem de nutrientes da palhada residual afetada pela retirada de plantas inteiras, assim o N aplicado em cobertura no milho nas parcelas N-Adubação Grãos não teve a oportunidade de ciclar no sistema.

Por vez, a média geral do experimento para o peso de mil (265, 82 g) foi próxima, porém inferior ao potencial especificado pela empresa produtora da cultivar, em que o peso de mil grãos é 290 g (INSTITUTO AGRONOMICO DE CAMPINAS, 2018).

Ademais, analisando o Número de Vagens por planta de Feijoeiro, foi observado efeito da interação Tempo de Adubação de N x Altura de Pasto ($P < 0,0301$) (Tabela 11) e efeito isolado das Doses Crescentes de N aplicadas me cobertura no feijoeiro ($P < 0,0003$) (Tabela 12) (Anova anexo 61). Nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada em cobertura na pastagem foi constatado o menor número de vagens por planta, quando a pastagem foi manejada em Alta Altura de pasto (Tabela 11). O fato da pastagem não receber adubação de N em cobertura e ser submetida ao manejo de Alta Altura, buscando atingir 25 cm de altura do pasto, faz com que as parcelas desse manejo possam desenvolver um ambiente deficiente em nutrientes, conciliado com a retirada da planta inteira de milho, resultando em menor número de vagens por planta nas parcelas N-Adubação Grãos manejadas a Alta Altura de pasto (Tabela 11).

Ainda, quando a pastagem foi manejada em Baixa Altura de pasto e sem adubação de N, o número de vagens por planta não diferiu das plantas que foram cultivadas nas parcelas que receberam N na pastagem (N-Adubação Pastagem) e foram manejadas em Alta e Baixa Altura de pasto (Tabela 11). Esse resultado reflete a influencia da deposição de fezes e urina dos animais, que estiveram em maior quantidade nas parcelas manejadas em Baixa Altura, e da adubação de N na pastagem, principalmente no manejo de Alta Altura, que pode proporcionar uma melhor qualidade estrutural a planta de azevém.

Tabela 10 – Componente de Rendimento, Número de Vagens por Planta de Feijoeiro, Fase III verão 2016, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos) e do manejo da Altura de Pasto na pastagem cultivada no inverno de 2014 (Alta Altura e Baixa Altura), em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2016. UTFPR, Pato Branco, 2018.

Tempo de Adubação de N	Altura de Pasto		Média
	Alta Altura	Baixa Altura	
	----- (unidade) -----		
N-Adubação Pastagem	15,90 a A	15,20 a A	
N-Adubação Grãos	13,43 b B	16,10 a A	
Média (kg de MS ha ⁻¹)			

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na horizontal e minúscula na vertical, não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro, pelo teste LSD. CV = 20,53 %. Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos; Alta Altura de Pasto: manejo da pastagem à 25 cm de altura; Baixa Altura de Pasto: manejo da pastagem à 10 cm de altura.

Todavia, a menor quantidade de vagens por planta foi observada apenas quando o feijoeiro não recebeu adubação nitrogenada em cobertura (Tabela 12), demonstrando que a adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro é importante para o componente de rendimento e o rendimento da cultura. Apesar não ter sido constatado diferença entre as demais doses de N (50, 100 e 150 kg de ha⁻¹ de N), é visto que conforme o aumento da dose de N em cobertura há o aumento do número de vagens por planta (Tabela 12).

Tabela 11 – Componente de Rendimento, Número de Vagens por Planta de Feijoeiro, Fase III verão 2016, em função das Doses Crescentes de N aplicadas no feijoeiro, em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2016. UTFPR, Pato Branco, 2018.

Doses crescentes de N	Média (unidade)
0 kg ha ⁻¹ de N	12,37 B
50 kg ha ⁻¹ de N	14,94 A
100 kg ha ⁻¹ de N	15,80 A
150 kg ha ⁻¹ de N	17,51 A
Média (kg de MS ha ⁻¹)	
	15,15

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na vertical, não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro, pelo teste LSD. CV = 17,88%. Legenda: Doses crescentes de N: 0, 50, 100 e 150 kg de ha⁻¹ de N aplicados em ambos os níveis do tratamento Tempo de Adubação de N.

Entretanto, a variação do número de vagens por planta em função das doses crescentes de N desse experimento, apresenta média maior que o observado por Bona Filho (2002), em cultivo de feijoeiro sob sistema ILP, o autor observou variação de 9,8 a 17,18 vagens por planta com o uso de doses crescentes de N na pastagem (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de N).

Do mesmo modo que o peso de mil grãos (Tabela 10), para o número

grãos por vagem do feijoeiro, constatou-se efeito significativo apenas do Tempo de adubação de N ($P < 0,0365$) (Anova anexo 62) (Tabela 13). A aplicação de nitrogênio em cobertura na pastagem proporcionou maior número de grãos por vagem no feijoeiro (Tabela 13) em relação as parcelas que não receberam N na pastagem (N-Adubação Grãos). Esse resultado expressa o efeito residual do N provindo da Fase I, mas também representa a modificação no ambiente que a retirada de planta inteira do milho pode interferir no cultivo posterior, uma vez que, a interface da ciclagem de nutrientes do cultivo do milho silagem foi prejudicada.

Tabela 12 – Componente de Rendimento, Número de Grãos por Vagem de Feijoeiro, Fase III verão 2016, em função do Tempo de Adubação de N (N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos), em sistema de integração Lavoura-Pecuária, Abelardo Luz, SC, 2016. UTFPR, Pato Branco, 2018.

Tempo de Adubação de N	Média (unidade)
N-Adubação Pastagem	4,25 A
N-Adubação Grãos	4,01 B
Média (kg de MS ha ⁻¹)	4,13

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na vertical, não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro, pelo teste LSD. CV = 10,14%. Legenda: N-Adubação Pastagem: aplicação de N na fase de pastagem; N-Adubação Grãos: aplicação de N na fase de cultivo de grãos;

Contudo, Bona Filho (2002) e Sandini (2009) não observaram influencia de doses crescentes de N aplicadas na pastagem e no feijoeiro, sobre o número de grãos por vagem, ressaltando ser uma característica de alta herdabilidade.

Mediante o exposto, a maioria dos componentes de rendimento do feijoeiro são influenciados pelo material genético, ou seja, cada cultivar apresenta um limite de genético para seus componentes e rendimento de grãos, havendo menor possibilidade influências externa. Os componentes de rendimento do feijoeiro cultivar IAC Milênio foram responsivos a adubação nitrogenada, sendo ela antecipada na pastagem ou aplicada em doses crescentes de N no feijoeiro. Contudo, a ensilagem do milho pode ter influenciado a interface da ciclagem de nutrientes do cultivo do milho para o feijoeiro, afetando os resultados.

5 CONCLUSÕES

O efeito residual de N dos tratamentos aplicados na fase pastagem no inverno de 2014 pode ter influenciado a fixação biológica de N_2 , simbiose da soja com o rhizobium, resultando em maiores teores de N-Amônio e N-Nitrato no solo na camada de 0-10 cm solo.

O uso da prática de adubação de sistemas não provoca perda por lixiviação de $N-NO_3^-$ no perfil do solo, mesmo quando realizada em uma única aplicação de $200 \text{ kg de N ha}^{-1}$ em cobertura na pastagem de azevém no inverno.

Os teores de N-Amônio são maiores ao final da fase de pastejo, demonstrando a constante mineralização dos resíduos vegetais que receberam adubação nitrogenada no perfilhamento do azevém e, a decomposição dos esterco dos animais depositado sobre o solo nessa fase.

O manejo da pastagem em baixa altura de pasto intensifica a ciclagem de nutrientes potencializando a prática da adubação nitrogenada na pastagem, fornecendo rapidamente N para a cultura subsequente devido a menor relação C/N proporcionada aos resíduos vegetais e o maior aporte de esterco dos animais no solo quando é realizada maior intensidade de pastejo.

A adubação de sistema proporciona maior efeito residual de nitrogênio mineral ($N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$) a longo prazo para as culturas de grãos no verão, principalmente no manejo de menor intensidade da pastagem, devido a maior quantidade de aporte de resíduos sobre o solo.

A adubação nitrogenada associada a maior intensidade de pastejo favorece o maior teor de N-Nitrato no solo até o estágio V4 do feijoeiro em safrinha, uma vez que, o maior teor de N-Nitrato no solo foi encontrado na camada de 0 a 5 cm de profundidade.

Mesmo com a aplicação de elevadas doses de nitrogênio em cobertura no feijoeiro em safrinha, evidencia-se que não há lixiviação de nitrato em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária de longa duração.

A adubação nitrogenada em cobertura no azevém proporcionou maiores teores de P disponível no solo após a aplicação de N, podendo haver mineralização de P dos resíduos da soja devido o fornecimento de N ao solo e sua

biota.

Ao longo do período de pastejo de azevém a adubação de N está influenciando no crescimento e desenvolvimento do azevém, o que acarreta em absorção de outros nutrientes, entre eles o P disponível no solo, que reduziu no solo quando houve adubação de N na pastagem.

O efeito residual de pastejo anterior ao cultivo da soja, proporciona maior absorção de K disponível no solo, devido sinergismos de absorção entre N e K, assim parcelas que receberam adubação nitrogenada na pastagem apresentam menores teores de K disponível no solo.

O pastejo e a adubação nitrogenada em cobertura no azevém estimulam o crescimento e rebrota das plantas, do mesmo modo, provocam absorção de nutrientes pelas plantas, entre eles o K, reduzindo os teores de K disponível no solo nessas parcelas.

Por mais que tenha um efeito de sinergismos entre K e N com a possibilidade de formação de par iônico, não foi visualizado perdas de K no solo por processos de lixiviação.

No cultivo do milho para silagem em ILP é possível alcançar níveis adequados de nutrição nitrogenada com a aplicação de nitrogênio em cobertura na pastagem no inverno, bem como, na própria cultura no verão.

A curva de diluição proposta por Lemaire e Salette (1984) para espécies de plantas C3 não se mostrou adequada para a diagnose do estado nutricional nitrogenado para a cultura do feijoeiro, logo uma nova curva específica para a cultura do feijoeiro deve ser proposta.

O uso de adubação nitrogenada em cobertura na pastagem e o manejo em menor intensidade de pastejo proporciona maior produção de forragem total do azevém.

A adubação nitrogenada em cobertura no milho, bem como, a aplicação de N em cobertura apenas na pastagem não influenciou na produção de matéria seca do milho silagem.

O manejo do azevém em menor intensidade de pastejo proporciona maior produção de matéria seca de milho silagem.

Independentemente dos tratamentos aplicados anteriormente, na fase

de pastagem e no milho silagem, as maiores produtividades de feijoeiro foram obtidas com a aplicação de 100 kg ha^{-1} de N em cobertura no estágio V4.

A adubação nitrogenada aplicada na pastagem aumenta os componentes de rendimento, peso de mil grãos, vagem por planta e número de grãos por vagem do feijoeiro, mesmo que muitos desses tenham alta herdabilidade genética.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo é decorrente de um projeto de longa duração em sistema de integração Lavoura-Pecuária, que tem o objetivo de verificar a associação da adubação de sistemas com o manejo da pastagem sobre comportamento de nutrientes no solo, a nutrição e produção das plantas cultivadas no sistema de rotação e a cinética de decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos vegetais. Nessa tese constam o resultado do terceiro ano agrícola de implantação, ou seja, do sexto, sétimo e oitavo ciclo de cultivo do sistema implantado em 2012, qual buscou verificar a hipótese de que há efeito residual de nutrientes no solo proporcionado pela interação entre a aplicação de adubação nitrogenada nas diferentes fases de cultivo do sistema ILP com distintas pressões de pastejo. O que influenciaria o comportamento de nitrogênio, fósforo e potássio no solo, o estado nutricional do milho silagem e feijoeiro em safrinha, bem como a produtividade destes cultivos no sistema.

Desse modo, é visto diversos efeitos do cultivo antecessor sobre a cultura em foco e suas inter-relações no sistema solo-planta-animal. Especificamente em relação ao comportamento dos nutrientes do solo, é nítido o efeito residual do nitrogênio provindo da pastagem sobre a cultura sucessora, influenciado pela adubação nitrogenada ocorrida no perfilhamento da pastagem e pelo manejo da intensidade de pastejo, que proporcionam em conjunto um ambiente de maior nutrição para as plantas e microrganismos no solo.

Uma vez que, o efeito residual de N provindo da adubação da pastagem é visto no comportamento de nitrato e amônio no solo até o cultivo de feijoeiro em safrinha, ou seja, a interface criada entre os cultivos dentro do sistema de ILP que faz uso da adubação de sistemas proporcione a reciclagem do nitrogênio sem perdas por meio do auxílio da microbiota do solo, que decompôs resíduos e disponibiliza constantemente os nutrientes para absorção das plantas.

Outro ponto importante, é relação do nitrogênio com demais nutrientes, como por exemplo, o fósforo e potássio, visto que, a adubação nitrogenada da pastagem contribuiu para maiores teores de P disponível no solo após aplicação no perfilhamento do azevém. Bem como, o maior crescimento e rebrote das plantas

proporcionada pela adubação nitrogenada na pastagem, provoca a absorção de nutrientes pelas plantas, entre eles o potássio e o fósforo, reduzindo provável possibilidade de perdas no solo.

Igualmente, o efeito do manejo da pastagem e da adubação nitrogenada na pastagem é visualizado na nutrição nitrogenada das plantas cultivadas no presente trabalho, em que a adubação nitrogenada na pastagem mantém a nutrição nitrogenada do milho silagem e proporciona aumento nos valores dos componentes de rendimento do feijoeiro, apesar da dose de 100 kg de N ha⁻¹ ser a de máxima eficiência técnica.

Todavia, o manejo da pastagem em alta ou baixa intensidade em conjunto com a adubação nitrogenada, tem influenciado o comportamento de nutrientes no solo e a produção dos cultivos, uma vez que, a alta intensidade de pastejo proporciona uma rápida ciclagem dos nutrientes para a cultura sucessora a pastagem e, a baixa intensidade de pastejo recicla o nutriente ao longo dos cultivos devido a maior quantidade de material vegetal depositado sobre o solo.

Enfim, os sistemas de ILP de longa duração que promovem o aporte de resíduos vegetais e plantas vegetando durante todo o ano, com o uso da adubação de sistemas e a presença constante dos animais favorecendo a entrada de carbono e de N, contribuem para maior atividade biológica, potencializando a ciclagem dos nutrientes e reduzindo potenciais perdas.

REFERÊNCIAS

- AGUINAGA, A.A.Q.; CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I. et al. Componentes estruturais e produção de forragem de uma pastagem de aveia e azevém submetida a diferentes alturas de manejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.1523-1530, 2008.
- AGUINAGA, A.A.Q.; CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I. et al. Produção de novilhos superprecoces em pastagem de aveia e azevém submetida a diferentes alturas de manejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.1765-1773, 2006.
- ANDREOLA, F. **Fixação simbiótica de nitrogênio pelo feijoeiro**. In: EPAGRI (Ed.) A cultura do feijão em Santa Catarina. Florianópolis: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina. 1992. p.137-146.
- ANDRIST-RANGEL, Y.; EDWARDS, A. C.; HILLIER, S.; OBORN, I. Longterm K dynamics in organic and conventional mixed cropping systems as related to management and soil properties. **Agric Ecosyst Environ**, v. 122, p. 413–426, 2007.
- ANGHINONI, I.; ASSMANN, J. M.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E.; CARVALHO, P. C. F. Ciclagem de nutrientes em integração Lavoura-Pecuária. III encontro de integração Lavoura-Pecuária no sul do Brasil. **Synergismuss Cyentifica UTFPR**, Pato Branco, 06 (2), 2011.
- ANGHINONI, I., ASSMANN, J.M., Ciclagem de nutrientes em sistema de integração soja-pecuária de corte em plantio direto e implicações na adubação. **Informações Agronômicas**, 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. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.8, p.325-380, 2013.
- ANGHINONI, I. **Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. e NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.873-928, 2007.
- ANGHINONI, I.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E. V. G. A. et al. **O solo no contexto: ciclagem de nutrientes e adubação do sistema**. In: **Grupo de Pesquisa em Sistema Integrado de Produção Agropecuária (GPSIPA)**. Integração soja -bovinos de corte no sul do Brasil. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015. p. 66-70. (Boletim técnico).
- AL-KANANI, T.; MACKENZIE, A.F.; BARTHAKUR, N.N. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. **Soil Science Society American Journal**, v. 55, p. 1761-1766, 1991.

ALONSO, M. P.; MORAES, E. H. B. K. de; PINA, D. dos S.; PEREIRA, D. H.; HOFFMANN, A.; SANSON, R. M. M.; WRUCK, F. J. Grão de milheto em suplementos para terminação de bovinos de corte em sistema integração lavoura e pecuária. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. v.14, n.2, p.350-361, 2013.

ALVES, R. C.; BREMM, C.; NUNES, C. L. R.; BARRO, R. Q.; BARTH-NETO, A.; SCHONS, R. M. T.; CAETANO, L. A. M.; CARVALHO, P. C. F. Suprimento de Nitrogênio para Culturas de Verão pela Aplicação Antecipada em Azevém Pastejado por Ovinos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p. 1406-1415, 2015.

ALVARES, Clayton A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n. 6, p.711–728, 2014.

ALVARENGA, R.C. et al. **Sistema de Integração Lavoura-Pecuária: o modelo implantado pela Embrapa Milho e Sorgo**, Circular Técnica, n.93, Sete Lagoas: MG, dezembro, 2007. 9p.

ALVES-PEREIRA, A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; KASCHUK, G.; OLIVEIRA-CHUEIRE, L. M. de; CAMPO, R. J.; TORRES, E. Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1397-1412, 2007.

AMADO, T.J.C.; MELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.241-248, 2002.

ASSMANN, T. S.; MARTINICHEN, D.; LIMA, R. C.; LEVINSKI-HUF, F.; ZORTÉA, T.; ASSMANN, A.; MORAES, A.; ALVES, S. **Adubação de sistemas e ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária (Cap. 8)**. In: SOUZA, E. D. (Eds.). *Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil*. 1 ed. Tubarão: Copiart, p. 123-144, 2018.

ASSMANN, J.M.; MARTINS, A.P.; ANGHINONI, I.; DENARDIN, L. G. DE; NICHEL, G. DE H.; COSTA, S.E.V.G DE A.; SILVA, R.A.P E; BALERINI, F.; CARVALHO, P. C. DE F.; FRANZLUEBBERS, A.J. Phosphorus and potassium cycling in a long-term no-till integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities in subtropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 2017. DOI: 10.1007/s10705-016-9818-6

ASSMANN, J. M. et al. Carbon and nitrogen cycling in an integrated soybean-beef cattle production system under different grazing intensities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 10, p. 967–978, out. 2015.

ASSMANN, T. S. et al. Does cattle grazing of dual-purpose wheat accelerate the rate of stubble decomposition and nutrients released? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 37–42, jun. 2014.

ASSMANN, J. M. **Estoque de carbono e nitrogênio no solo e ciclagem de nutrientes em sistema de integração soja-bovinos de corte em plantio direto de longa duração**. 151f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre - RS. 2013.

ASSMANN, Tangriani S. et al. Fixação biológica de nitrogênio por plantas de trevo (*Trifolium*spp) em sistema de integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.5, p.1435-1442, 2007.

ASSMANN, A. L.; PELISSARI, A.; MORAES, A. de; ASSMANN, T. S. Produção de Gado de Corte e Acúmulo de Matéria Seca em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária em Presença e Ausência de Trevo Branco e Nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 37-44, 2004.

ASSMANN, T. S. et al. 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.4, p.675-683, 2003.

ASSMANN, A. L. **Adubação nitrogenada de forrageiras de estação fria em presença e ausência de trevo branco, na produção da pastagem e animal em área de Integração Lavoura- Pecuária**. 114p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 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**. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção vegetal) - Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

BALBINOT JUNIOR, A.A.; MORAES, A.; VEIGA, M. da; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1925-1933, 2009.

BARTH NETO, A.; CARVALHO, P. C. F.; LEMAIRE, G. et al. Perfilhamento em pastagens de azevém em sucessão a soja ou milho, sob diferentes métodos e intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.3, p.329-338, 2013.

BAR TAL, A. The Effects of Nitrogen Form on Interactions with Potassium. **Research Findings**, v. 29, p. 1-12, 2011.

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.** 96f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2016.

BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F.A.de O.; TEDESCO, M. J. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas,** Porto Alegre: Metrópole, 2º Ed., 2008. 344p.

BALDISSERA, T. C. **Modelagem do crescimento de azevém anual sob pastejo.** 2010. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

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.** 2002. 118 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

BORTOLLI, M. A. **Adubação de sistemas: antecipação de adubação nitrogenada para a cultura do milho em integração lavoura-pecuária.** 85f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2016.

BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Phosphorus in the microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry,** Heidelberg, v. 16, p. 169-175, 1984.

CAIRES, E. F.; MILLA, R. Adubação nitrogenada em cobertura para o cultivo de milho com alto potencial produtivo em sistema de plantio direto de longa duração. **Bragantia,** Campinas, v. 75, n. 1, p.87-95, 2016.

CANTARELLA, H. **Nitrogênio.** In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). Fertilidade do Solo. Viçosa: SBCS, p.375-470, 2007.

CARVALHO, P.C.F.; RIBEIRO FILHO, H.M.N.; POLI, C.H.E.C. et al. **Importância da estrutura da pastagem na ingestão e seleção de dietas de animais pelo animal em pastejo.** In: MATTOS, W.R.S. et al. (Ed.) Produção animal na visão dos brasileiros. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2001. p.853-871.

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,** v.58, n.4, p.438-443, 2011.

CHAGAS, E.; ARAÚJO, P.A.; TEIXEIRA, M.G. et al. Decomposição e liberação de nitrogênio, fósforo e potássio de resíduos da cultura do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.31, n.4, p.723-729, 2007.

COELHO, F. S; FONTES, P. C. R; CECON, P. R.; BRAUN, H; SILVA, I. R. Valor e predição do nível crítico de índices para avaliar o estado nitrogenado da batateira. **Ciência Agrônômica**. v. 44, n. 1, p. 115- 122, 2013.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v. 29, n.5, p. 777-788, 2005.

CONTE, E. et al. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida pela aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.4, p.925-930, 2002.

CONTE, E. et al. Frações de fósforo acumulada em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.5, p.893-900, 2003.

COSTA, S.E.V.G.A.; SOUZA, E.D.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; MARTINS, A.P.; KUNRATH, T.R.; CECAGNOA, D.; BALERINI, F. Impact of an integrated no-till crop–livestock system on phosphorus distribution, availability and stock. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 43-51, 2014.

CQFS. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 376 p.,2016.

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fraction: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, Amsterdam, v. 64, p. 197-214, 1995.

DALAL, R. C. Soil organic phosphorus. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 29, p. 83-17, 1977.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. **Elementos requeridos à nutrição de plantas**. In: NOVAIS RF; ALVAREZ VVH; BARROS NF; FONTES RLF; CANTARUTTI RB; NEVES JCL (eds). Fertilidade do Solo. Viçosa: SBCS/UFV. p. 92-132, 2007.

DEISS, L.; MORAES, A. de; DIECKOW, J.; FRANZLUEBBERS, A. J.; COLPO, L.; CARVALHO, P. C. F. Soil phosphorus compounds in integrated crop-livestock systems of subtropical Brazil. **Geoderma**, v. 274, p. 88–96, 2016.
DOI: 10.2136/sssaj2016.10.0326

DIVITO, G.A., ECHEVERRÍA, 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.

DORNELES, E.P.; LISBOA, B.B.; ABICHEQUER, A.D.; BISSANI, C.A.; MEURER, E.G.; VARGAS, L.K. Tillage, fertilization systems and chemical attributes of Paleudult. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 02, p.175-186, 2015.

DUBEUX, J.C.B, JR.; SOLLENBERGER, L.E.; MATHEWS, B.W.; SCHOLBERG, J.M.; SANTOS, H.Q. Nutrient cycling in warm-climate grasslands. **Crop Sci.**, v. 47, p. 915-928, 2007.

DUBEUX J. C. B.; SOLLENBERGER L.E.; INTERRANTE S. M.; J.M.B. VENDRAMINI, R.L. Stewart Litter decomposition and mineralization in bahiagrass pastures managed at different intensities. **Crop Sci.**, v. 46, p. 1305–1310, 2006.

DURU, M.; LEMAIRE, G.; CRUZ, P. **The nitrogen requirements of major agricultural crops: grasslands**. In: Lemaire, G. (Ed.), *Diagnosis on the Nitrogen Status in Crops*. Springer-Verlag, Heidelberg, p. 59-72, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online], v. 31, n. 2, p. 393-402, 2007. ISSN 1806-9657

ESPÍNDOLA, J.A.A.; ALMEIDA, D.; GUERRA, J.G.M. & SILVA, E.M.R. Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com *Paspalum notatum* em um agroecossistemas. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 104-113, 2001.

FARINELLI, R.; FORNASIERI FILHO, D.; PENARIOL, F. G.; BORDIN, L.; LEMOS, L. B. Influência da adubação nitrogenada e potássica nos componentes de produção de arroz de terras altas: In: **Anais do 29º. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo** [CD-ROM]; 13-18 julho 2003. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

FERREIRA, E.V.O.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F., COSTA, S.E.V.G.A. & CAO, E.G. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1675-1684, 2009.

FERREIRA, E. V. D. O. et al. Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 161–169, 2011.

FERGUSON, R.B.; KISSEL, D.E.; KOELIKER, J.K.; BASEL, W. Ammonia volatilization from surface-applied urea: Effect of hydrogen ion buffering capacity. **Soil Science Society of America Journal**, v.2, p.578-582, 1984.

FONTOURA, S.; M.; V.; BAYER, C. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 06, p. 1721-1732, 2009.

FONSECA JÚNIOR, N.S.; CIRINO, V.M.; OLIARI, L. Cultivares. In: Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro no paraná. IAPAR. **Informe de Pesquisa**, n.128, p.38-42, 58p. 1998.

FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M.; GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, p. 459-467, 2000.

FRANZLUEBBERS, A.J., STUEDEMANN, J.A. Surface soil changes during twelve years of pasture management in the southern Piedmont USA. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 74, p. 2131–2141, 2010.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 247 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Santa Maria, RS, 2003.

GASTAL, f.; LEMAIRE, G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. **Journal of experimental botany**, v. 53, p. 789-799, 2002.

GROFFMAN, P.M. **Nitrogen in the environment**. In: SUMNER, M. E., Ed. Handbook of soil science. Boca Raton, CRC Press, p. 190-200, 2000.

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.

HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, v.49, p.119-199, 1993.

HAWKESFORD, M. et al. Functions of macronutrients. In: Marschner P (ed) Marschner's mineral nutrition of higher plants, 2 ed. **Elsevier**, New York, p. 135–189, 2012.

IAC, Instituto Agronômico de Campinas. **Centro de grãos e fibra/Cultivares de feijoeiro IAC** [internet]. <http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/graos/feijao.php>
KAYSER, M.; ISSELSTEIN, J. Potassium cycling and losses in grassland systems: a review. **Grass Forage Sci**, v. 60, p. 213–224, 2005.

KUNRATH, T. R.; BERRANGER, C.; CHARRIERC, X.; GASTAL, F.; CARVALHO, P. C. F.; LEMAIRE, .; EMILEC, J. C.; , DURANDA, J. L. How much do sod-based rotations reduce nitrate leaching in a cerealcropping system? **Agricultural Water Management**, v. 150, p. 46–56, 2015.

LANG, C. R. **Pastejo e nitrogênio afetando atributos da fertilidade do solo e rendimento de milho em sistema de integração lavoura-pecuária**. 105 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção vegetal) - Departamento de Fitotecnia e Fitossantarismo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

LAMOTHE, A. G.; SAWCHIK, J.; QUINCKE, A.. **Nitrogen Balance and C: N Ratio Influence in Agro-Ecosystems on Soil Carbon Sequestration**. In: 20th WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE. 2014. p. 367-367.

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

LEMAIRE, G.; SALETTE, J. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélevement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. 1. Etude de l'effet du milieu. **Agronomie**, v.4, p.241-249, 1984.

LIMA, R. C. de. **Adubação de sistemas: volatilização de amônia em área de integração lavoura-pecuária em experimento de longa duração**. 85 f.: Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2018.

LINDSAY, W. L.; VLEK, P. L. G.; CHIEN, S. H. **Phosphate minerals**. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Eds.) *Minerals in soil environments*. SSSA, Madison, 1989, p. 1089-1130.

LIU, K.; SOLLENBERGER, L. E.; SILVEIRA, M. L.; VENDRAMINI, J. M. B.; NEWMAN, Y.C. Grazing intensity and nitrogen fertilization affect litter responses in 'tifton 85' bermudagrass pastures: II. Decomposition and nitrogen mineralization. **Agronomy Journal**, v. 103, n.01, p.163-168, 2011.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adições de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 175-187, 2004.

LUPWAYI, N. Z.; CLAYTON, G. W.; HARKER, K. N.; TURKINGTON, T. K.; JOHNSTON, A. M. Impact of crop residue type on potassium release. **Better Crops**, v. 89, p. 14–15, 2005.

LUSTOSA, S.; MACHADO, D.; BALDISSERA, T.; MORAES, A. de; SANDINI, I. Experiências de Integração Lavoura-Pecuária na Região Central do Paraná. **Synergismus scyentifica UTFPR**, v. 6, n. 2, 2011.

MACCARI, S. et al. Recria de borregas sob diferentes métodos de pastoreio em azevém anual em sucessão a lavoura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1401-1408, 2011.

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?** 2016. 119p. Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

MACHADO, M. I. C. S.; BRAUNER, J. L.; VIANNA, A. C. T. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 331-336, 1993.

MALCOLM, B. J.; CAMERON, K. C.; DI, H. J.; EDWARDS, G. R.; MOIR, J. L. The effect of four different pasture species compositions on nitrate leaching losses under high N loading. **Soil Use and Management**, v. 30, p. 58–68, 2014 doi: 10.1111/sum.12101

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 1995. 201 p.

MARTINAZZO, R. et al. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto afetado pela adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.3, p.563-568, 2007.

MARTHA JÚNIOR, G.B.; VILELA, L.; BARIONI, L.G.; SOUSA, D.M.G. de; BARCELLOS, A. de O. Manejo da adubação nitrogenada em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 155-215.

MARTINS, A. P.; ANGHINONI, L.; KUNRATH, T. R.; CARVALHO, P. C. F.; **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil** (Boletim Técnico). 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2015. 102 p

MIELNICZUK, J. **Manejo conservacionista da adubação potássica**. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. (Eds). Potássio na Agricultura Brasileira: Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 2005. p. 165-178.

MILFORD, G.F. J.; JOHNSTON, A. E. **Potassium and Nitrogen Interactions**. In: **615° International Fertilizers Society: Crop Production** [Internet]. New York, UK, 2007. ISBN: 978-0-85310-252-6

MORAES, A.; PIVA, J. T.; SARTOR, L. R.; CARVALHO, P. C. F. Avanços científicos em Integração Lavoura-Pecuária no sul do Brasil. **Synergismus scyentifica**, v.6, n.2, 2011.

MOREIRA, M.S.F. e SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo** (2 ed.). Lavras: UFLA, p. 729, 2006.

MORENO, M.G.; LOPEZ, M. D. L.; OLIVEIRA, F. C. **Eficácia de los sistemas agro Florestales em el control de la lixiviación de nitrato**. Acta de la III Reúñion sobre sistemas agro Florestales. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For, v. 22, p. 113-118. 2007.

MOTT, G.O. **Grazing pressure and the measurement of pasture production**. In: Internacional Grassland Congress, 8. 1960, England. Proceedings... England, 1960.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. **The design conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures**. In.: INTERNATION GRASSLAND CONGRESS, 6., 1952. Proceedings... Pennsylvania: State College Press, 1952. p. 1380-1395.

NABINGER, C. **Fundamentos da Produção e Utilização de Pastagens - Bases ecofisiológicas do crescimento das pastagens e as práticas de manejo**. Notas do módulo 1 da disciplina AGR 05003. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.

NACHTIGALL, G.R; RAIJ, B.V. **Análise e interpretação do potássio no solo**. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. (Eds). Potássio na Agricultura Brasileira: Piracicaba: Potafós, 2005. P.93-113.

NASCIMENTO JR. D.; CAVALCANTE, M. A. B. **Reciclagem de excreções animais na pastagem** [Internet] 2001; [acesso em 16 fev 2018] Disponível em: <http://forragicultura.com.br/SECAO.ASP?codcol=12>

NEVES, M. C. P. **Como os microrganismos do solo obtêm energia e nutrientes**. In: CARDOSO, E. J. N. B.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Eds.) Microbiologia do solo. SBCS. Campinas, 1992, p. 17-31.

NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. H., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.1017p. 2007.

OLIVEIRA, M. I. L. **Movimento de íons no solo sob sistema de integração lavoura-pecuária na região dos cerrados**. 81 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária Brasília, DF, 2007.

ORWIN, K. H.; BERTRAM, J. E.; CLOUGH, T. J.; CONDRON, L. M.; SHERLOCK, R. R.; O' CALLAGHAN, M.; RAY, J.; BAIRD, D. B. Impact of bovine urine deposition on soil microbial activity, biomass and community structure. **Applied Soil Ecology**, v. 44, n. 1, p. 89-100, 2010.

PALM, C. A.; SANCHES, P. A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affect by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.23, n. 1, p. 83-88, 1991.

PADOVAN, M. P.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R L. D.; OLIVEIRA, F. L.; SANTOS, L. A.; ALVES, B. J. R.; SOUTO, S. M. Decomposição e liberação de nutrientes de soja cortada em diferentes estádios de desenvolvimento. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.4, p.667-672, abr. 2006.

PEDREIRA, C. G. S.; MELLO, A. C. L.; OTANI, L. O processo de produção de forragem em pastagens. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 2001. p.772-807.

PLÉNET, D.; LEMAIRE, G. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. **Plant Soil**, New York, v. 216, n.1, p. 65–82, 2000.

PLÉNET, D., CRUZ, P., **The nitrogen requirement of major agricultural crops: maize and sorghum**. In: Lemaire, G. (Ed.), *Diagnosis on the Nitrogen Status in Crops*. Springer-Verlag, Heidelberg, p. 93–106, 1997.

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.

PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; PRIMAVESI, A.C.; CANTARELLA, H.; ARMELIN, M.J.A.; SILVA, A.G.; FREITAS, A.R. **Adubação com ureia em pastagem de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross: Eficiência e perdas**. São Carlos, Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. 42p. (Circular Técnica, 30)

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; STRIEDER, M L; SILVA, A. A.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M. Índices nutricionais de N e produtividade de milho em diferentes níveis de manejo e de adubação nitrogenada. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.46, n.4, p.390-397, abr. 2011.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI Brasil. 2011.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos/Ceres, 1991. 285p

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, Fundação IAC, 1997.

RHEINHEIMER, D.S; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.34, n.15/16, p.2339-2354, 2003.

RHEINHEIMER, D.S. et al. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.3, p.589-597, 2000.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.1, p.151-160, 2001.

RODRIGUES, K.; ROSSI JUNIOR, P.; MOLETTA, J. L. Avaliação das características de carcaça de bovinos mestiços Purunã, alimentados com diferentes níveis de energia na dieta. **Archives of Veterinary Science**, n. 13, p. 265-273, 2008.

ROJAS, C. A. L.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WEBER, M. A.; VIEIRO, F. Volatilização de amônia da ureia alterada por sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura invernais no Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.261-270, 2012.

ROSOLEM, C.A. et al. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.6, p.1033-1040, 2006.

ROTZ, C.A., F. TAUBE, M.P. RUSSELLE, J. OENEMA, M.A. SANDERSON, AND M. WACHENDORF. Whole-farm perspectives of nutrient flows in grassland agriculture. **Crop Sci**, v. 45 p. 2139-2159, 2005.

RUIZ, H.A.; MIRANDA, J.; CONCEIÇÃO, J.C.S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para suprimento de K, Ca, Mg às plantas de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.4, p.1015-1018, 1999.

RUFINI, M.; FERREIRA, P. A. A.; SOARES, B. L.; OLIVEIRA, D. P.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. S. Simbiose de bactérias fixadoras de nitrogênio com feijoeiro-comum em diferentes valores de Ph. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.46, n.1, p.81-88, 2011.

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

SANAULLAH, M.; CHABBI, A.; LEMAIRE, G.; CHARRIER, X.; RUMPEL, C. How does plant leaf senescence of grassland species influence decomposition kinetics and litter compounds dynamics? **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.88, p.159-171, 2010. DOI: 10.1007/s10705-009-9323-2.

SANDINI, I. E. et al. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.8, p.1315-1322, 2011.

SANDINI, I. E. **Milho, feijão e nitrogênio no sistema de produção integração Lavoura-Pecuária**. 147 f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, Curitiba, PR, 2009.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v. 33, p. 687-692, 2003.

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 Alexander grass pasture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 899–906, 2011.

SARTOR, Laércio Ricardo. **Atributos químicos e biológicos do solo, rendimento e valor nutritivo de grãos de milho em sistema de integração lavoura-pecuária em resposta ao nitrogênio**. 104 f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Produção Vegetal, Curitiba, PR, 2012.

SARTOR, L. R.; ASSMAN, T. S.; SOARES, A. B.; ADAMI, P. F.; ASSMANN, A. L.; ORTIZ, S. Assessment of the nutritional status of grassland: nitrogen nutrition index. **Semina: Ciências Agrárias**, vol. 35, p.449-456, 2014.

SEMMARTIN, M.; GARIBALDI, L. A.; CHANETON, E. J. Grazing history effects on above- and below-ground litter decomposition and nutrient cycling in two co-occurring grasses. *Plant and Soil*, v. 303, n. 1–2, p. 177–189, 2008.

SILVEIRA, Edson R. et al. Intensidade de pastejo e adubação nitrogenada na massa seca de aveia e produtividade do milho na integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1323-1332, jul./ago. 2012.

SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O. e CERETTA, C.A. **Composição da fase sólida orgânica do solo**. In: MEURER, E.J., ed. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre, Genesis, p.73-100, 2004.

SILVA, R.R., CARDOSO, E. L., MOREIRA, F. M. S., CURI, N., ALOVIS, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

SILVA, S.C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. do; EUCLIDES, V.B.P. Pastagens: conceitos básicos, produção e manejo. Viçosa: **Suprema**, p. 24-31, 2008.

SILVA, A. A. et al. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, v.37, n.4, 2007.

SILVEIRA, E.R.; PELISSARI, A.; MORAES, A. de; PIAZZETTA, H.V.L.; LANG, C.R.; CARVALHO, P.C.F. Intensidade de pastejo e adubação nitrogenada na massa seca de aveia e produtividade do milho na integração lavoura-pecuária. **Semina**, v. 33, n. 4, p. 1323-1332, 2012.

SHARPLEY, A. N.; TIESSEN, H.; COLE, C. V. Soil phosphorus forms extracted by soil tests as a function of pedogenesis. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 51, p. 362-365, 1987.

SCHOMBERG, H. H.; STEINER, J. L. Nutrient dynamics of crop residues decomposing on a fallow no-till soil surface. **Soil Sci Soc Am J**, v. 63, p. 607-613, 1999.

SMECK, N, E. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 36, p. 185-199, 1985.

SPERA, S.T. et al. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.129-136, 2009.

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P.; PAGANI, F. A. Aplicação de nitrogênio e inoculação com rizóbio em feijoeiro cultivado após milho consorciado com braquiária. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.46, n.4, p.370-377, 2011.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; LIMA, C.V.S.; ANGHINONI, I.; EGON JOSÉ MEURER, J.E. & CARVALHO, P.C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistemas de integração agricultura-pecuária submetidos a intensidades de pastejo em plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:1273- 1282, 2008.

SOUZA, E. D. **Evolução da matéria orgânica, do fósforo e da agregação do solo em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidade de pastejo**. 182 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Porto Alegre, RS, 2008.

SORATTO, R.P.; CARVALHO, M.A.C. e ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 895-901, 2004.

SPARKS, D.L. **Bioavailability of soil potassium**. In: SUMNER, M.E. (Ed). *Handbok of soil Science*. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.38-52.

SPARKS, D.L.; HUANG, P.M. Physical chemistry of soil potassium. In: MUNSON, R.D. (Ed). *Potassium in agriculture*. Madison: **American Society of Agronomy**, p . 201-276, 1985.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Nutrição Mineral. Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 722p. Cap.5: Nutrição mineral. p.96-101.

TATTO, Wilson Henrique. **Altura de pasto e adubação nitrogenada afetam os atributos físicos do solo, plantabilidade e produtividade da soja no sistema de integração lavoura – pecuária?** 196 f.: Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2017.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**, Porto Alegre, Departamento de Solos, UFRGS, 174p. 1995.

TIESSEN, H.; SALEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. Nutrient and soil organic matter dynamic under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environments**, Amsterdam, v. 38, p. 139-159, 1984.

TOWNSEND, C. R. **Nitrogênio em sistemas pastoris**. 1.ed. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2011. 29p

TSAI, S. M.; BARAIBAR, A. V. L.; ROMANI, V. L. M. **Efeito de fatores do solo**. In: CARDOSO, E. J. N. B.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Eds.) *Microbiologia do solo*. SBCS. Campinas, 1992, p. 59-72.

VALDERRAMA, M; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; ORIVALDO ARF, O.; SÁ, M. E. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 191-196, 2009.

VIANA, E.M.; KIEHL, J.C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 975-982, 2010.

VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; ZANATTA, J.A.; BISSANI, C.A. Long-term acidification of a Brazilian Acrisol as affected by no till cropping systems and nitrogen fertilizer. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, p.17-26, 2008.

YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, 2005.

WEISMANN, Martin. **Fases de desenvolvimento da cultura do milho**. In: *Tecnologia e Produção: Milho Safrinha e Culturas de Inverno 2008*. Maracaju: Fundação MS para Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias, cap. 4, p. 31 – 38, 2008.

WHITEHEAD, D.C., **Nutrient Elements in Grassland: Soil-Plant-Animal Relationships**. CABI Publishing, Cambridge. 2010.

WILKINSON, S. R., GRUNES, D. L.; SUMNER M. E. **Nutrient interactions in soil and plant nutrition.** In: Sumner M.E. (ed.) Handbook of Soil Science, Boca Raton, FL, USA: CRC Press, p. 89–112, 2000.

WOODS, R.R.; CAMERON, K.C.; EDWARDS, G.R.; DI, H.J.; CLOUGH, T.J. 15N recoveries from ruminant urine patches on three forage types. **Plant Soil**, v. 417, p. 453-465, 2017.

ZANCANARO, L.; HILLESHEIM, J.; HOOGERHIDE, H.; VERONESE, M.; VILELA, L.; FRANCISCO, E.A.B. **Manejo do solo, adubação e nutrição da cultura da soja.** In: HIROMOTO, D.M.; CAJU, J.; CAMACHO, S.A. (Ed). Boletim de pesquisa de soja 2009. Rondonópolis: Fundação MT, n.13. p.270-285, 2009.

ZIADI, N.; BÉLANGER, G.; CLAESSENS, A.; LEFEBVRE, L.; CAMBOURIS, A.N.; TREMBLAY, N.; NOLIN, M.C.; PARENT, L. É. Determination of a Critical Nitrogen Dilution Curve for Spring Wheat. **Agronomy Journal**, v.102, 2010.

ANEXOS

Anexo 1 – Análise de Variância para N-NH₄⁺, coleta 16/04/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	74,5505	1	74,5505	58,88	0,0000
B:Altura pasto	51,329	1	51,329	40,54	0,0000
C:Profund	324,107	4	81,0269	64,00	0,0000
D:Bloco	2,05815	2	1,02908	0,81	0,4512
INTERACTIONS					
AB	57,1716	1	57,1716	45,16	0,0000
AC	94,1504	4	23,5376	18,59	0,0000
BC	121,086	4	30,2714	23,91	0,0000
ABC	31,1654	4	7,79135	6,15	0,0006
RESIDUAL	48,11	38	1,26605		
TOTAL (CORRECTED)	803,728	59			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 2 - Análise de Variância para N-NO₃⁻, coleta 16/04/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	895,008	1	895,008	166,47	0,0000
B:Altura pasto	1007,7	1	1007,7	187,43	0,0000
C:Profund	3125,54	4	781,385	145,34	0,0000
D:Bloco	12,4698	2	6,23489	1,16	0,3244
INTERACTIONS					
AB	743,952	1	743,952	138,38	0,0000
AC	2180,05	4	545,012	101,37	0,0000
BC	2061,33	4	515,334	95,85	0,0000
ABC	2155,3	4	538,825	100,22	0,0000

RESIDUAL	204,299	38	5,37629
TOTAL (CORRECTED)	12385,7	59	

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 3 – Desdobramento da análise de variância para N-NH₄⁺ na Alta Altura de Pasto, coleta 16/04/2015, no programa Statgraphics,

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	131,146	1	131,146	108,79	0,0000
B:Profund	86,9842	4	21,7461	18,04	0,0000
C:Bloco	2,196	2	1,098		
INTERACTIONS					
AB	43,1147	4	10,7787	8,94	0,0004
RESIDUAL	21,6993	18	1,20551		
TOTAL (CORRECTED)	285,141	29			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 4 – Desdobramento da análise de variância para N-NH₄⁺ na Baixa Altura de Pasto, coleta 16/04/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	0,575738	1	0,575738	0,72	0,4080
B:Profund	358,209	4	89,5522	111,66	0,0000
C:Bloco	11,837	2	5,91852		
INTERACTIONS					
AB	82,201	4	20,5503	25,62	0,0000
RESIDUAL	14,4359	18	0,801994		
TOTAL (CORRECTED)	467,259	29			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 5 – Desdobramento da análise de variância para N-NO₃⁻ na Alta Altura de Pasto, coleta 16/04/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	1635,47	1	1635,47	464,63	0,0000
B:Profund	4946,18	4	1236,54	351,29	0,0000
C:Bloco	8,76368	2	4,38184		
INTERACTIONS					
AB	4312,05	4	1078,01	306,26	0,0000
RESIDUAL	63,3594	18	3,51997		
TOTAL (CORRECTED)	10965,8	29			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 6 – Desdobramento da análise de variância para N-NO₃⁻ na Baixa Altura de Pasto, coleta 16/04/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	3,48799	1	3,48799	0,54	0,4699
B:Profund	240,698	4	60,1745	9,40	0,0003
C:Bloco	29,4418	2	14,7209		
INTERACTIONS					
AB	23,2977	4	5,82443	0,91	0,4791
RESIDUAL	115,204	18	6,40022		
TOTAL (CORRECTED)	412,129	29			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 7 - Análise de Variância para $N-NH_4^+$, coleta dia 04/06/15, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	54,1676	1	54,1676	2,89	0,0974
B:Altura pasto	30,8034	1	30,8034	1,64	0,2078
C:Profund	3095,09	4	773,773	41,25	0,0000
D:Bloco	118,577	2	59,2886	3,16	0,0537
INTERACTIONS					
AB	5,72967	1	5,72967	0,31	0,5837
AC	969,563	4	242,391	12,92	0,0000
BC	1362,8	4	340,699	18,16	0,0000
ABC	216,218	4	54,0546	2,88	0,0353
RESIDUAL	712,872	38	18,7598		
TOTAL (CORRECTED)	6565,82	59			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 8 - Análise de Variância para $N-NO_3^-$, coleta dia 04/06/15, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	990,177	1	990,177	386,50	0,0000
B:Altura pasto	6,50856	1	6,50856	2,54	0,1192
C:Profund	2568,55	4	642,138	250,65	0,0000
D:Bloco	2,41222	2	1,20611	0,47	0,6281
INTERACTIONS					
AB	19,8638	1	19,8638	7,75	0,0083
AC	1957,98	4	489,495	191,07	0,0000
BC	63,2067	4	15,8017	6,17	0,0006
ABC	79,5969	4	19,8992	7,77	0,0001
RESIDUAL	97,3526	38	2,56191		
TOTAL (CORRECTED)	5785,65	59			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 9 - Desdobramento da análise de variância para $N-NH_4^+$ na Alta Altura de Pasto, coleta dia 04/06/15, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	47,5657	1	47,5657	4,67	0,0445
B:Profund	2391,4	4	597,849	58,68	0,0000
C:Bloco	69,1387	2	34,5693		
INTERACTIONS					
AB	641,95	4	160,487	15,75	0,0000
RESIDUAL	183,399	18	10,1888		
TOTAL (CORRECTED)	3333,45	29			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 10 - Desdobramento da análise de variância para $N-NH_4^+$ na Baixa Altura de Pasto, coleta dia 04/06/15, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	12,3315	1	12,3315	0,66	0,4272

B:Profund	2066,49	4	516,624	27,65	0,0000
C:Bloco	242,55	2	121,275		
INTERACTIONS					
AB	543,832	4	135,958	7,28	0,0011
RESIDUAL	336,362	18	18,6868		
TOTAL (CORRECTED)	3201,57	29			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 11 - Desdobramento da análise de variância para $N-NO_3^-$ na Alta Altura de Pasto, coleta dia 04/06/15, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	645,265	1	645,265	211,81	0,0000
B:Profund	1394,44	4	348,61	114,43	0,0000
C:Bloco	10,7956	2	5,3978		
INTERACTIONS					
AB	833,755	4	208,439	68,42	0,0000
RESIDUAL	54,8355	18	3,04642		
TOTAL (CORRECTED)	2939,09	29			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 12 - Desdobramento da análise de variância para $N-NO_3^-$ na Baixa Altura de Pasto, coleta dia 04/06/15, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	364,775	1	364,775	208,70	0,0000
B:Profund	1237,32	4	309,33	176,98	0,0000
C:Bloco	2,67289	2	1,33644		
INTERACTIONS					
AB	1203,82	4	300,955	172,19	0,0000
RESIDUAL	31,4608	18	1,74782		
TOTAL (CORRECTED)	2840,05	29			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 13 - Análise de Variância para $N-NH_4^+$, coleta 07/09/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	265,617	1	265,617	20,57	0,0001
B:Altura pasto	59,5351	1	59,5351	4,61	0,0395
C:Profund	258,076	4	64,5191	5,00	0,0030
D:Bloco	55,6751	2	27,8376	2,16	0,1324
INTERACTIONS					
AB	46,9672	1	46,9672	3,64	0,0655
AC	421,565	4	105,391	8,16	0,0001
BC	181,491	4	45,3727	3,51	0,0174
ABC	387,63	4	96,9074	7,50	0,0002
RESIDUAL	413,291	32	12,9153		
TOTAL (CORRECTED)	2171,68	53			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 14 - Análise de Variância para $N-NO_3^-$, coleta 07/09/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
--------	----------------	----	-------------	---------	---------

MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	90,7382	1	90,7382	286,90	0,0000
B:Altura pasto	1,00109	1	1,00109	3,17	0,0847
C:Profund	31,8545	4	7,96362	25,18	0,0000
D:Bloco	0,850557	2	0,425278	1,34	0,2750
INTERACTIONS					
AB	66,0472	1	66,0472	208,83	0,0000
AC	4,55992	4	1,13998	3,60	0,0155
BC	10,4596	4	2,61489	8,27	0,0001
ABC	11,4556	4	2,86391	9,06	0,0001
RESIDUAL	10,1206	32	0,316268		
TOTAL (CORRECTED)	236,953	53			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 15 - Desdobramento da análise de variância para N-NH₄⁺ na Alta Altura de Pasto, coleta dia 07/09/15, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	42,8067	1	42,8067	2,99	0,1046
B:Profund	185,42	4	46,3551	3,23	0,0422
C:Bloco	48,5094	2	24,2547		
INTERACTIONS					
AB	765,22	4	191,305	13,34	0,0001
RESIDUAL	215,098	15	14,3399		
TOTAL (CORRECTED)	1308,12	26			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 16 - Desdobramento da análise de variância para N-NH₄⁺ na Baixa Altura de Pasto, coleta dia 07/09/15, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	277,643	1	277,643	23,52	0,0002
B:Profund	262,59	4	65,6474	5,56	0,0060
C:Bloco	28,285	2	14,1425		
INTERACTIONS					
AB	67,0295	4	16,7574	1,42	0,2754
RESIDUAL	177,073	15	11,8049		
TOTAL (CORRECTED)	816,117	26			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 17 - Desdobramento da análise de variância para N-NO₃⁻ na Alta Altura de Pasto, coleta dia 07/09/15, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	0,892968	1	0,892968	1,74	0,2069
B:Profund	29,4091	4	7,35226	14,33	0,0001
C:Bloco	1,95249	2	0,976247		
INTERACTIONS					
AB	2,81502	4	0,703754	1,37	0,2905
RESIDUAL	7,69699	15	0,513133		
TOTAL (CORRECTED)	43,3189	26			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 18 - Desdobramento da análise de variância para N-NO₃⁻ na Baixa Altura de Pasto, coleta dia 07/09/15, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	157,937	1	157,937	1940,29	0,0000
B:Profund	15,4427	4	3,86067	47,43	0,0000
C:Bloco	0,100667	2	0,0503334		
INTERACTIONS					
AB	14,1434	4	3,53586	43,44	0,0000
RESIDUAL	1,22098	15	0,0813988		
TOTAL (CORRECTED)	191,548	26			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 19 - Análise de Variância para N-NH₄⁺, coleta 16/11/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	26,9369	1	26,9369	0,72	0,4003
B:Altura pasto	645,524	1	645,524	17,35	0,0002
C:Profund	130,435	4	32,6088	0,88	0,4873
D:Bloco	4,27909	2	2,13954	0,06	0,9442
INTERACTIONS					
AB	48,6067	1	48,6067	1,31	0,2604
AC	313,668	4	78,4171	2,11	0,0994
BC	118,605	4	29,6512	0,80	0,5348
ABC	784,777	4	196,194	5,27	0,0018
RESIDUAL	1376,45	37	37,2014		
TOTAL (CORRECTED)	3420,65	58			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 20 - Análise de Variância para N-NO₃⁻, coleta, 16/11/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	117,57	1	117,57	18,78	0,0001
B:Altura pasto	479,214	1	479,214	76,54	0,0000
C:Profund	955,85	4	238,962	38,17	0,0000
D:Bloco	3,23641	2	1,6182	0,26	0,7736
INTERACTIONS					
AB	504,223	1	504,223	80,54	0,0000
AC	598,002	4	149,501	23,88	0,0000
BC	79,7263	4	19,9316	3,18	0,0241
ABC	157,856	4	39,4641	6,30	0,0006
RESIDUAL	231,641	37	6,26056		
TOTAL (CORRECTED)	3228,71	58			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 21 – Desdobramento da Análise de Variância para N-NH₄⁺ na Alta Altura de Pasto, coleta, 16/11/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	67,9288	1	67,9288	1,83	0,1938
B:Profund	45,5681	4	11,392	0,31	0,8693
C:Bloco	114,044	2	57,0221		
INTERACTIONS					
AB	808,301	4	202,075	5,45	0,0052

RESIDUAL	630,798	17	37,1057
TOTAL (CORRECTED)	1668,43	28	

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 22 – Desdobramento da Análise de Variância para N-NH₄⁺ na Baixa Altura de Pasto, coleta, 16/11/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	1,62914	1	1,62914	0,08	0,7845
B:Profund	161,519	4	40,3798	1,91	0,1525
C:Bloco	46,4707	2	23,2354		
INTERACTIONS					
AB	367,931	4	91,9829	4,35	0,0123
RESIDUAL	380,578	18	21,1432		
TOTAL (CORRECTED)	958,129	29			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 23 – Desdobramento da Análise de Variância para N-NO₃⁻ na Alta Altura de Pasto coleta, 16/11/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	62,5834	1	62,5834	8,44	0,0098
B:Profund	381,711	4	95,4277	12,87	0,0001
C:Bloco	11,3381	2	5,66904		
INTERACTIONS					
AB	198,68	4	49,67	6,70	0,0020
RESIDUAL	126,018	17	7,41281		
TOTAL (CORRECTED)	802,392	28			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 24 – Desdobramento da Análise de Variância para N-NO₃⁻ na Baixa Altura de Pasto coleta, 16/11/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	568,963	1	568,963	118,72	0,0000
B:Profund	688,68	4	172,17	35,93	0,0000
C:Bloco	11,2597	2	5,62987		
INTERACTIONS					
AB	595,376	4	148,844	31,06	0,0000
RESIDUAL	86,2616	18	4,79231		
TOTAL (CORRECTED)	1950,54	29			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 25 - Análise de Variância para N-NH₄⁺, coleta 24/01/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	3,0265	1	3,0265	0,23	0,6317
B:Altura pasto	173,912	1	173,912	13,44	0,0008
C:Profund	211,149	4	52,7872	4,08	0,0083
D:Bloco	64,9541	2	32,477	2,51	0,0962
INTERACTIONS					
AB	111,665	1	111,665	8,63	0,0059

AC	295,56	4	73,8901	5,71	0,0013
BC	140,247	4	35,0617	2,71	0,0463
ABC	216,591	4	54,1479	4,18	0,0073
RESIDUAL	439,925	34	12,939		
TOTAL (CORRECTED)	1643,65	55			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 26 - Análise de Variância para $N-NO_3^-$, coleta 24/01/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	7,12999	1	7,12999	3,33	0,0766
B:Altura pasto	1,9684	1	1,9684	0,92	0,3441
C:Profund	35,7961	4	8,94903	4,18	0,0073
D:Bloco	42,0277	2	21,0138	9,83	0,0004
INTERACTIONS					
AB	0,154907	1	0,154907	0,07	0,7894
AC	35,6233	4	8,90581	4,16	0,0075
BC	25,8623	4	6,46558	3,02	0,0309
ABC	84,4016	4	21,1004	9,87	0,0000
RESIDUAL	72,7086	34	2,13849		
TOTAL (CORRECTED)	312,462	55			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 27 – Desdobramento da Análise de Variância para $N-NH_4^+$ na Alta Altura de Pasto, coleta, 24/01/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	51,6039	1	51,6039	5,00	0,0390
B:Profund	278,494	4	69,6236	6,75	0,0019
C:Bloco	12,71	2	6,35498		
INTERACTIONS					
AB	80,4886	4	20,1222	1,95	0,1483
RESIDUAL	175,439	17	10,3199		
TOTAL (CORRECTED)	603,092	28			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 28 – Desdobramento da Análise de Variância para $N-NH_4^+$ na Baixa Altura de Pasto, coleta, 24/01/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	37,2534	1	37,2534	2,43	0,1396
B:Profund	161,057	4	40,2641	2,63	0,0760
C:Bloco	29,3787	2	14,6893		
INTERACTIONS					
AB	420,717	4	105,179	6,87	0,0024
RESIDUAL	229,591	15	15,3061		
TOTAL (CORRECTED)	859,847	26			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 29 – Desdobramento da Análise de Variância para $N-NO_3^-$ na Alta Altura de Pasto coleta, 24/01/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
--------	----------------	----	-------------	---------	---------

MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	2,73897	1	2,73897	1,14	0,3005
B:Profund	40,8452	4	10,2113	4,25	0,0145
C:Bloco	33,6699	2	16,8349		
INTERACTIONS					
AB	115,085	4	28,7713	11,98	0,0001
RESIDUAL	40,8223	17	2,40131		
TOTAL (CORRECTED)	234,706	28			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 30 – Desdobramento da Análise de Variância para $N-NO_3^-$ na Baixa Altura de Pasto coleta, 24/01/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	1,77957	1	1,77957	1,60	0,2256
B:Profund	23,2822	4	5,82055	5,22	0,0077
C:Bloco	9,31195	2	4,65598		
INTERACTIONS					
AB	17,9656	4	4,49139	4,03	0,0205
RESIDUAL	16,7135	15	1,11423		
TOTAL (CORRECTED)	60,5096	26			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 31 - Análise de Variância para $N-NH_4^+$, coleta 12/03/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de N	282,816	1	282,816	1,26	0,2633
B:Altura pasto	29,157	1	29,157	0,13	0,7189
C:Dose N	726,384	3	242,128	1,08	0,3598
D:Profund nume	985,019	4	246,255	1,10	0,3599
E:Bloco	1833,45	2	916,725		
INTERACTIONS					
AB	17,77	1	17,77	0,08	0,7787
AC	15,2789	3	5,09296	0,02	0,9953
AD	850,023	4	212,506	0,95	0,4384
BC	59,2179	3	19,7393	0,09	0,9665
BD	1088,59	4	272,147	1,21	0,3077
CD	3738,8	12	311,566	1,39	0,1774
ABC	743,942	3	247,981	1,11	0,3489
ABD	2402,9	4	600,726	2,68	0,0341
ACD	2164,39	12	180,366	0,80	0,6456
BCD	3903,38	12	325,281	1,45	0,1500
RESIDUAL	32067,9	143	224,251		
TOTAL (CORRECTED)	53326,6	212			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 32 - Análise de Variância para $N-NO_3^-$, coleta 12/03/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de N	2373,06	1	2373,06	13,71	0,0003
B:Altura pasto	2637,0	1	2637,0	15,24	0,0001
C:Dose N	5124,9	3	1708,3	9,87	0,0000
D:Profund nume	7831,15	4	1957,79	11,31	0,0000

E:Bloco	684,071	2	342,036		
INTERACTIONS					
AB	846,94	1	846,94	4,89	0,0285
AC	1398,82	3	466,274	2,69	0,0484
AD	127,261	4	31,8153	0,18	0,9465
BC	871,675	3	290,558	1,68	0,1743
BD	450,61	4	112,653	0,65	0,6272
CD	2531,34	12	210,945	1,22	0,2757
ABC	238,737	3	79,5792	0,46	0,7108
ABD	998,051	4	249,513	1,44	0,2233
ACD	4886,59	12	407,215	2,35	0,0087
BCD	3753,84	12	312,82	1,81	0,0521
RESIDUAL	24751,0	143	173,084		
TOTAL (CORRECTED)	60920,1	212			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 33 – Desdobramento da Análise de Variância para N-NH₄⁺ na Alta Altura de Pasto, coleta, 12/03/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de N	9,54029	1	9,54029	0,04	0,8376
B:Profund nume	1981,88	4	495,47	2,19	0,0755
C:Bloco	2464,28	2	1232,14		
INTERACTIONS					
AB	2656,38	4	664,094	2,94	0,0244
RESIDUAL	21226,4	94	225,813		
TOTAL (CORRECTED)	28604,3	105			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 34 – Desdobramento da Análise de Variância para N-NH₄⁺ na Baixa Altura de Pasto, coleta, 12/03/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de N	172,042	1	172,042	0,80	0,3739
B:Profund nume	590,058	4	147,514	0,68	0,6046
C:Bloco	2091,1	2	1045,55		
INTERACTIONS					
AB	1268,7	4	317,176	1,47	0,2171
RESIDUAL	20480,9	95	215,588		
TOTAL (CORRECTED)	24705,4	106			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 35 – Desdobramento da Análise de Variância para N-NO₃⁻ no N-Adubação Pastagem, coleta, 12/03/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Dose N	5134,69	3	1711,56	5,21	0,0023
B:Profund nume	4726,24	4	1181,56	3,60	0,0092
C:Bloco	729,493	2	364,747		
INTERACTIONS					
AB	4036,34	12	336,361	1,02	0,4346
RESIDUAL	28577,2	87	328,473		
TOTAL (CORRECTED)	44426,0	108			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 36 – Desdobramento da Análise de Variância para N-NO₃⁻ no N-Adubação Grãos, de Pasto coleta, 12/03/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Dose N	995,333	3	331,778	4,39	0,0064
B:Profund nume	3829,25	4	957,313	12,67	0,0000
C:Bloco	378,332	2	189,166		
INTERACTIONS					
AB	2282,68	12	190,223	2,52	0,0071
RESIDUAL	6193,29	82	75,5279		
TOTAL (CORRECTED)	13619,8	103			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 37 - Análise de Variância para P no solo, coleta 16/04/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	5,93461	1	5,93461	2,66	0,1115
B:Altura pasto	0,0286017	1	0,0286017	0,01	0,9105
C:Profund	335,918	4	83,9794	37,58	0,0000
D:Bloco	2,08932	2	1,04466		
INTERACTIONS					
AB	7,011	1	7,011	3,14	0,0846
AC	5,36518	4	1,34129	0,60	0,6648
BC	11,0303	4	2,75756	1,23	0,3129
ABC	6,27212	4	1,56803	0,70	0,5957
RESIDUAL	84,9289	38	2,23497		
TOTAL (CORRECTED)	458,578	59			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 38 - Análise de Variância para P no solo, coleta 04/06/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	38,1285	1	38,1285	34,25	0,0000
B:Altura pasto	2,07204	1	2,07204	1,86	0,1805
C:Profund	1418,06	4	354,516	318,47	0,0000
D:Bloco	11,0017	2	5,50085		
INTERACTIONS					
AB	3,06908	1	3,06908	2,76	0,1051
AC	77,945	4	19,4863	17,51	0,0000
BC	95,6373	4	23,9093	21,48	0,0000
ABC	23,899	4	5,97475	5,37	0,0016
RESIDUAL	42,3005	38	1,11317		
TOTAL (CORRECTED)	1712,12	59			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 39 – Desdobramento da Análise de Variância para P no solo na Baixa Altura de Pasto, coleta 04/06/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	9,78123	1	9,78123	8,46	0,0094

B:Profund	918,775	4	229,694	198,57	0,0000
C:Bloco	11,7062	2	5,8531		
INTERACTIONS					
AB	57,8561	4	14,464	12,50	0,0000
RESIDUAL	20,821	18	1,15672		
TOTAL (CORRECTED)	1018,94	29			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 40 – Desdobramento da Análise de Variância para P no solo na Alta
Altura de Pasto, coleta 04/06/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	31,4163	1	31,4163	29,52	0,0000
B:Profund	594,928	4	148,732	139,76	0,0000
C:Bloco	1,61894	2	0,80947		
INTERACTIONS					
AB	43,988	4	10,997	10,33	0,0002
RESIDUAL	19,1561	18	1,06423		
TOTAL (CORRECTED)	691,107	29			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 41 - Análise de Variância para P no solo, coleta 07/09/2015, no programa
Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	20,5884	1	20,5884	7,23	0,0113
B:Altura pasto	6,71611	1	6,71611	2,36	0,1346
C:Profund	4100,16	4	1025,04	359,73	0,0000
D:Bloco	7,00101	2	3,5005		
INTERACTIONS					
AB	7,72722	1	7,72722	2,71	0,1094
AC	62,8962	4	15,7241	5,52	0,0017
BC	52,3012	4	13,0753	4,59	0,0048
ABC	10,3844	4	2,5961	0,91	0,4693
RESIDUAL	91,1827	32	2,84946		
TOTAL (CORRECTED)	4422,39	53			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 42 - Análise de Variância para P no solo, coleta 12/03/2016, no programa
Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de N	2,27388	1	2,27388	0,16	0,6896
B:Altura pasto	0,267326	1	0,267326	0,02	0,8911
C:Dose N	31,6692	3	10,5564	0,74	0,5278
D:Profund nume	1164,46	4	291,115	20,50	0,0000
E:Bloco	3,66532	2	1,83266		
INTERACTIONS					
AB	17,1906	1	17,1906	1,21	0,2730
AC	5,61444	3	1,87148	0,13	0,9410
AD	84,6656	4	21,1664	1,49	0,2077
BC	70,6603	3	23,5534	1,66	0,1783
BD	14,3086	4	3,57715	0,25	0,9082

CD	143,416	12	11,9513	0,84	0,6076
ABC	20,6162	3	6,87207	0,48	0,6940
ABD	122,247	4	30,5618	2,15	0,0770
ACD	380,811	12	31,7343	2,23	0,0126
BCD	280,561	12	23,3801	1,65	0,0843
RESIDUAL	2187,01	154	14,2013		
TOTAL (CORRECTED)	4641,37	223			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 43 – Desdobramento da Análise de Variância para P no solo na parcela N-Adubação Grãos, coleta 12/03/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Dose N	25,9165	3	8,63884	0,58	0,6285
B:Profund nume	642,378	4	160,594	10,81	0,0000
C:Bloco	40,8359	2	20,418		
INTERACTIONS					
AB	351,748	12	29,3123	1,97	0,0356
RESIDUAL	1351,45	91	14,8511		
TOTAL (CORRECTED)	2454,64	112			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 44 – Desdobramento da Análise de Variância para P no solo na parcela N-Adubação Pastagem, coleta 12/03/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Dose N	22,2341	3	7,41138	0,51	0,6793
B:Profund nume	628,43	4	157,107	10,72	0,0000
C:Bloco	24,5383	2	12,2692		
INTERACTIONS					
AB	215,977	12	17,9981	1,23	0,2768
RESIDUAL	1304,17	89	14,6536		
TOTAL (CORRECTED)	2182,83	110			

Anexo 45 - Análise de Variância para K no solo, coleta 16/04/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	0,05046	1	0,05046	11,79	0,0015
B:Altura pasto	0,04704	1	0,04704	10,99	0,0020
C:Profund	2,59824	4	0,64956	151,74	0,0000
D:Bloco	0,0708633	2	0,0354317		
INTERACTIONS					
AB	0,0355267	1	0,0355267	8,30	0,0065
AC	0,0495067	4	0,0123767	2,89	0,0349
BC	0,03056	4	0,00764	1,78	0,1521
ABC	0,0335067	4	0,00837667	1,96	0,1209
RESIDUAL	0,16267	38	0,00428079		
TOTAL (CORRECTED)	3,07837	59			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 46 - Análise de Variância para K no solo, coleta 04/06/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	0,28566	1	0,28566	50,73	0,0000
B:Altura pasto	0,00864	1	0,00864	1,53	0,2230
C:Profund	3,36532	4	0,841331	149,42	0,0000
D:Bloco	0,00850333	2	0,00425167		
INTERACTIONS					
AB	0,0516267	1	0,0516267	9,17	0,0044
AC	0,149523	4	0,0373808	6,64	0,0004
BC	0,10601	4	0,0265025	4,71	0,0035
ABC	0,0744233	4	0,0186058	3,30	0,0203
RESIDUAL	0,213963	38	0,00563061		
TOTAL (CORRECTED)	4,26367	59			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 47 – Desdobramento da Análise de Variância para K no solo na Alta Altura de Pasto, coleta 04/06/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	0,0472033	1	0,0472033	7,51	0,0134
B:Profund	1,74498	4	0,436245	69,40	0,0000
C:Bloco	0,0177267	2	0,00886333		
INTERACTIONS					
AB	0,144447	4	0,0361117	5,75	0,0037
RESIDUAL	0,11314	18	0,00628556		
TOTAL (CORRECTED)	2,0675	29			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 48 – Desdobramento da Análise de Variância para K no solo na Baixa Altura de Pasto, coleta 04/06/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	0,290083	1	0,290083	57,06	0,0000
B:Profund	1,72635	4	0,431588	84,89	0,0000
C:Bloco	0,0000866667	2	0,0000433333		
INTERACTIONS					
AB	0,0795	4	0,019875	3,91	0,0187
RESIDUAL	0,0915133	18	0,00508407		
TOTAL (CORRECTED)	2,18754	29			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 49 - Análise de Variância para K no solo, coleta 07/09/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	0,309728	1	0,309728	25,15	0,0000
B:Altura pasto	0,143938	1	0,143938	11,69	0,0017
C:Profund	3,2898	4	0,82245	66,79	0,0000
D:Bloco	0,000103021	2	0,0000515106		
INTERACTIONS					
AB	0,0529152	1	0,0529152	4,30	0,0463
AC	0,0684374	4	0,0171094	1,39	0,2597
BC	0,0608711	4	0,0152178	1,24	0,3154

ABC	0,0480897	4	0,0120224	0,98	0,4341
RESIDUAL	0,39403	32	0,0123134		
TOTAL (CORRECTED)	4,37974	53			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 50 - Análise de Variância para K no solo, coleta 12/03/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de N	0,0614944	1	0,0614944	3,66	0,0577
B:Altura pasto	0,0008693	1	0,0008693	0,05	0,8205
C:Dose N	0,00260079	3	0,000866929	0,05	0,9845
D:Profund nume	1,16041	4	0,290103	17,25	0,0000
E:Bloco	0,105495	2	0,0527473		
INTERACTIONS					
AB	0,00554649	1	0,00554649	0,33	0,5666
AC	0,0916167	3	0,0305389	1,82	0,1466
AD	0,0464433	4	0,0116108	0,69	0,5997
BC	0,0142236	3	0,00474121	0,28	0,8384
BD	0,0204569	4	0,00511422	0,30	0,8749
CD	0,081862	12	0,00682183	0,41	0,9598
ABC	0,346025	3	0,115342	6,86	0,0002
ABD	0,0263375	4	0,00658438	0,39	0,8145
ACD	0,090445	12	0,00753708	0,45	0,9410
BCD	0,071327	12	0,00594392	0,35	0,9770
RESIDUAL	2,59013	154	0,016819		
TOTAL (CORRECTED)	4,79061	223			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 51 – Desdobramento da Análise de Variância para k no solo na Baixa Altura de pasto, coleta 12/03/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de N	0,0102135	1	0,0102135	0,61	0,4372
B:Dose N	0,0122164	3	0,00407212	0,24	0,8656
C:Profund nume	0,437954	4	0,109489	6,55	0,0002
D:Bloco	0,0939414	2	0,0469707		
INTERACTIONS					
AB	0,13605	3	0,0453499	2,71	0,0518
AC	0,00648712	4	0,00162178	0,10	0,9831
BC	0,0639184	12	0,00532654	0,32	0,9836
ABC	0,0411643	12	0,00343036	0,21	0,9978
RESIDUAL	1,12023	67	0,0167198		
TOTAL (CORRECTED)	1,96537	108			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 52 – Desdobramento da Análise de Variância para K no solo na Alta Altura de pasto, coleta 12/03/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de N	0,0465777	1	0,0465777	2,58	0,1127
B:Dose N	0,00828815	3	0,00276272	0,15	0,9275
C:Profund nume	0,736208	4	0,184052	10,19	0,0000
D:Bloco	0,0447636	2	0,0223818		
INTERACTIONS					
AB	0,312519	3	0,104173	5,76	0,0014

AC	0,0590791	4	0,0147698	0,82	0,5182
BC	0,100211	12	0,00835088	0,46	0,9303
ABC	0,173018	12	0,0144181	0,80	0,6513
RESIDUAL	1,31917	73	0,0180708		
TOTAL (CORRECTED)	2,82523	114			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 53 – Resumo XX Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Seção: Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2016.

866

SESSÃO: MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

PRODUÇÃO DE PALHADA DE AZEVÉM, MILHO SILAGEM E FEIJÃO EM SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

Tangriani Simioni Assmann¹, Flávia Levinski¹, Marcelo Luiz Fetzer², André Brugnara Soares¹, Ezequiel Antonio Albanir Venturim³

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Professora Associada, Pato Branco - PR, tangriani@utfpr.edu.br; ²Instituto Federal do Paraná; ³União das Instituições de Serviços, Ensino e Pesquisa.

Palavras-chave: cobertura de solo; adubação nitrogenada; intensidade de pastejo.

A manutenção do solo coberto é fundamental para prevenir a erosão, proteger o solo dos efeitos de compactação por máquinas e animais, amenizar infestações de plantas daninhas, além de melhorar o ambiente edáfico para o desenvolvimento radicular. Uma vez que, toda a dinâmica de crescimento de pastagem observado acima do solo, também ocorre abaixo dele (KUNRATH et al., 2015).

O sistema de integração lavoura - pecuária (ILP) é um sistema de produção que alterna, na mesma área, o cultivo de pastagens visando à produção animal, e culturas destinadas à produção de grãos. Neste sistema é possível adotar o sistema plantio direto (SPD), pois permite realizar a rotação de culturas, o não revolvimento do solo e mesmo assim produzir resíduos vegetais visando à cobertura constante do solo, obtida com sucesso com um adequado manejo da pastagem.

Para o manejo da pastagem no inverno, a adubação nitrogenada proporciona um maior vigor e aumento da produção de biomassa vegetal, e conseqüentemente a deposição dos resíduos orgânicos. Assim, o pastejo estará promovendo o crescimento radicular, bem como, maximizando a absorção de água e nutrientes. Porém, áreas submetidas a constantes superpastejo e sem adoção de prática de fertilização corretas, apresentam descontinuidade de cobertura de solo e redução do sistema radicular.

Desse modo, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito de épocas de adubação nitrogenada e intensidades de pastejo sobre o total de palhada produzido no ano agrícola 2015/16 em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP).

O experimento foi realizado em propriedade rural no município de Abelardo Luz - SC, com área experimental de 14 ha, utilizada desde meados de 2012 para fins de experimentação com ILP sob sistema de plantio direto. No presente estudo foi cultivado azevém (*Lolium multiflorum* L.) sob pastejo no inverno, milho para silagem e feijão safrinha no verão.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema fatorial (2 x 2), com três repetições. Assim, constituindo os quatro tratamentos, o primeiro fator foi constituído por épocas de aplicação de nitrogênio (N) no sistema: N aplicado na pastagem (N-pastagem) e N aplicado na cultura de grãos (N-grãos), na dose de 200 kg de N ha⁻¹ para o cultivo do milho e 100 kg de N ha⁻¹ para o cultivo do feijão. O segundo fator foi à intensidade de pastejo, caracterizada por duas alturas de manejo da pastagem: Alta altura de pasto (0,30 m) e Baixa altura de pasto (0,10 m).

A pastagem foi formada por azevém semeado a lanço no dia 16/04/15, recebendo adubação nitrogenada no dia 21/05/15 nos tratamentos N-pastagem. O período de pastejo foi de 93 dias, com avaliação da biomassa residual da pastagem após a retirada dos animais dos piquetes, no dia 05/09/15. A semeadura direta do milho para silagem "AG 8780 VT - Pró" foi realizado no dia 14/09/16, com a avaliação da biomassa residual após a colheita para silagem, em 23/01/2016. O feijão safrinha, "IAC

Milênio", foi semeado em plantio direto dia 27/01/16, avaliando a biomassa residual após a colheita, em 05/05/16. A avaliação da quantidade de palhada foi efetuada por meio do corte e coleta, rente ao solo da biomassa aérea, em um quadro amostral de 0,25 m², em pontos aleatórios por parcela. Apenas na avaliação da biomassa residual após a colheita do milho silagem foi efetuado coleta e separação de material residual dos cultivos antecessores e de papuã, no mesmo quadro amostral. Após as coletas as amostras foram secas, pesadas e o valor foi extrapolado para kg MS ha⁻¹.

A biomassa residual de pastagem no inverno e dos cultivos de grão no verão foi somada a fim de obter um total de palhada produzido pelos cultivos no ano agrícola de 2015/2016, demonstrando a cobertura do solo durante o ano agrícola, com total de 9.383,66 kg MS ha⁻¹. Para a biomassa residual do feijão não houve influência dos tratamentos aplicados, com uma média 2.414,89 kg MS ha⁻¹. Do mesmo modo, para a avaliação de biomassa residual após a colheita do milho silagem não foi observado efeito dos tratamentos aplicados sobre a quantidade de biomassa residual de milho, dos restos de culturas antecessores ao milho e de restos de papuã, com uma média de 1.607,17 kg MS ha⁻¹, 1.117,34 kg MS ha⁻¹ e 823,53 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Somando-se a quantidade de MS residual da separação do milho (45,2 %), restos culturais antecessores (31,5 %) e papuã (23,3 %), o período produziu 3.548,04 kg MS ha⁻¹. A biomassa residual do milho teve maior proporção do cultivo de verão, 45,2 % do total, entretanto, a maior parte dos resíduos foi formada por colmo, com alta relação C/N o que reduz a ciclagem de nutrientes, porcentagem de cobertura de solo, bem como, o benefício à cultura sucessora.

Entretanto, sobre a biomassa residual do cultivo do azevém no inverno constatou-se influência de ambos os fatores, época de aplicação de N e intensidade de pastejo ($P < 0,05$). Constatou-se maior produção de palhada do azevém quando a adubação nitrogenada foi aplicada na pastagem (3.831,36 kg MS ha⁻¹) em relação ao manejo N-grãos (3.010,1 kg MS ha⁻¹). Já para o fator intensidade de pastejo, o manejo Alta altura de pasto foi o que proporcionou maior produção de biomassa residual (4.263,44 kg MS ha⁻¹) em relação ao manejo Baixa altura de pasto (2.278,02 kg MS ha⁻¹).

A aplicação de N na pastagem é um fator preponderante para aumentar a produção de biomassa e consequentemente aumentar a produção de biomassa residual de azevém no final do cultivo. Todavia, com a pastagem nutrida é possível ter uma maior carga animal, diferente do que ocorre com o tratamento N-grãos, que deve ser reduzida a carga para não afetar os níveis de biomassa residual final. Por isso, maximizar a produção de biomassa dos cultivos para promover o acúmulo de matéria orgânica é tão importante quanto à manutenção de uma quantidade mínima de biomassa residual sobre o solo no final do ciclo da cultura (SOARES et al., 2015).

Ressalta-se que mesmo nas parcelas manejadas com Baixa altura de pasto, ao final do período de pastejo o solo encontrava-se 100 % coberto, situação contrária ao observado, por exemplo após o cultivo do feijão o qual foi realizado após a silagem de milho, processo este que retirou grande quantidade de matéria seca da área.

Assim, mesmo que a pastagem manejada a Baixa altura de pasto tenha resultado em uma menor quantidade de matéria seca residual, uma maior quantidade de MS foi consumida pelos animais e consequentemente contribuiu para uma maior ciclagem de nutrientes, principalmente nas parcelas N-pastagem. Desta forma, considera-se que a quantidade de matéria seca e nutrientes ciclados durante o processo de pastejo e consequentemente a constante cobertura verde do solo, "pousio zero" é preponderante para evitar perdas de solo, água e nutrientes.

868

SESSÃO: MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

Em sistemas ILP a produção de maior quantidade de biomassa vegetal aérea faz com que aumente a ciclagem de nutrientes e consequentemente disponibilidade dos mesmos as plantas, do mesmo modo, que a manutenção de biomassa residual para o SPD. Assim, perfazendo a ciclagem de nutrientes um importante indicador de qualidade e conservação de solo.

Referências

KUNRATH, T. R.; MARTINS, A. P.; NUNES, P. A. A. et al. Fase Pastagem: Produção e manejo do pasto. In: Grupo de Pesquisa em Sistema Integrado de Produção Agropecuária (GPSIPA). **Integração soja -bovinos de corte no sul do Brasil**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015, p. 33-38. (Boletim técnico).

SOARES, A. B.; AIOLFI, R. B.; DE BORTOLLI, M. A. et al. Produção animal e vegetal em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. In: **SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO ANIMAL A PASTO**, 3., 2015, Dois Vizinhos. Anais... Maringá: Sthampa, 2015, p. 139-176.

Anexo 54 - Análise de Variância para teores de N na planta de milho silagem, 35 dias após a semeadura - coleta 19/10/2015, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:DAS	112,391	4	28,0979	351,17	0,0000
B:Tempo de N	0,0914657	1	0,0914657	1,14	0,2877
C:Altura Pasto	0,221416	1	0,221416	2,77	0,0995
D:bloco	0,634612	2	0,317306		
INTERACTIONS					
AB	5,13842	4	1,2846	16,05	0,0000
AC	0,490386	4	0,122597	1,53	0,1991
BC	0,222154	1	0,222154	2,78	0,0990
ABC	0,525548	4	0,131387	1,64	0,1701
RESIDUAL	7,60122	95	0,0800129		
TOTAL (CORRECTED)	128,621	116			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 55 - Análise de Variância para teores de N (%) na planta de milho silagem, 123 dias após a semeadura – colheita, coleta 17/01/2016, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de N	1,11499E7	1	1,11499E7	1,78	0,1984
B:Altura Pasto	1,17599E8	1	1,17599E8	18,81	0,0004
C:bloco	4,60242E6	2	2,30121E6		
INTERACTIONS					
AB	401349,	1	401349,	0,06	0,8029
RESIDUAL	1,12535E8	18	6,25195E6		
TOTAL (CORRECTED)	2,46288E8	23			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 56 - Análise de Variância para teores de N (%) na planta de feijoeiro, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:DAS	129,883	6	21,6471	188,37	0,0000
B:Tempo N	0,0150664	1	0,0150664	0,13	0,7176
C:Altura Pasto	0,129067	1	0,129067	1,12	0,2904
D:Dose N	6,75114	3	2,25038	19,58	0,0000
E:Bloco	0,240218	2	0,120109		
INTERACTIONS					
AB	1,04684	6	0,174473	1,52	0,1733
AC	0,849106	6	0,141518	1,23	0,2912
AD	6,73467	18	0,374148	3,26	0,0000
BC	0,0222435	1	0,0222435	0,19	0,6604
BD	0,42482	3	0,141607	1,23	0,2989
CD	0,175465	3	0,0584882	0,51	0,6765
ABC	0,122315	6	0,0203859	0,18	0,9828
ABD	1,94253	18	0,107918	0,94	0,5321
ACD	2,26394	18	0,125774	1,09	0,3593
BCD	0,275304	3	0,0917679	0,80	0,4959
ABCD	1,83694	18	0,102052	0,89	0,5937
RESIDUAL	24,8227	216	0,11492		
TOTAL (CORRECTED)	179,41	329			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 57 - Análise de Variância para Produção de Forragem Total da pastagem de Azevém, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	111,314	1	111,314	183,24	0,0000
B:Altura de Pasto	81,2407	1	81,2407	133,73	0,0000
C:bloco	1,00762	2	0,503809		
INTERACTIONS					
AB	19,7177	1	19,7177	32,46	0,0013
RESIDUAL	3,64493	6	0,607489		
TOTAL (CORRECTED)	216,925	11			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 58 - Análise de Variância para Produção de Matéria Seca do Milho Silagem, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo de N	1,11499E7	1	1,11499E7	1,78	0,1984
B:Altura Pasto	1,17599E8	1	1,17599E8	18,81	0,0004
C:bloco	4,60242E6	2	2,30121E6		
INTERACTIONS					
AB	401349,	1	401349,	0,06	0,8029
RESIDUAL	1,12535E8	18	6,25195E6		
TOTAL (CORRECTED)	2,46288E8	23			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 59 - Análise de Variância para Rendimento de Grãos do Feijoeiro, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	162364,	1	162364,	1,10	0,3028
B:Altura pastejo	0,403333	1	0,403333	0,00	0,9987
C:Dose N sub	2,42534E6	3	808447,	5,47	0,0040
D:Bloco	293222,	2	146611,		
INTERACTIONS					
AB	350772,	1	350772,	2,37	0,1338
AC	543241,	3	181080,	1,23	0,3175
BC	232891,	3	77630,3	0,53	0,6681
ABC	938526,	3	312842,	2,12	0,1188
RESIDUAL	4,43171E6	30	147724,		
TOTAL (CORRECTED)	9,37807E6	47			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 60 - Análise de Variância para Peso de Mil Grãos do Feijoeiro, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	939,428	1	939,428	6,40	0,0169
B:Altura pastejo	26,537	1	26,537	0,18	0,6736
C:Dose N sub	653,298	3	217,766	1,48	0,2387
D:Bloco	2128,88	2	1064,44		
INTERACTIONS					
AB	153,689	1	153,689	1,05	0,3142
AC	74,3645	3	24,7882	0,17	0,9165
BC	377,402	3	125,801	0,86	0,4737
ABC	37,5249	3	12,5083	0,09	0,9676
RESIDUAL	4400,49	30	146,683		
TOTAL (CORRECTED)	8791,61	47			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 61 - Análise de Variância para Número de Vagens por Planta de Feijoeiro, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					

A:Tempo N	7,38685	1	7,38685	1,13	0,2968
B:Altura pastejo	11,9102	1	11,9102	1,82	0,1877
C:Dose N sub	165,171	3	55,0571	8,40	0,0003
D:Bloco	6,49689	2	3,24844		
INTERACTIONS					
AB	33,9865	1	33,9865	5,19	0,0301
AC	7,31554	3	2,43851	0,37	0,7737
BC	12,1995	3	4,06651	0,62	0,6072
ABC	14,2991	3	4,76637	0,73	0,5437
RESIDUAL	196,578	30	6,55259		
TOTAL (CORRECTED)	455,343	47			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.

Anexo 62 - Análise de Variância para Número de Grãos por Vagem de Feijoeiro, no programa Statgraphics.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Tempo N	0,674502	1	0,674502	4,79	0,0365
B:Altura pastejo	0,00200208	1	0,00200208	0,01	0,9059
C:Dose N sub	1,01827	3	0,339424	2,41	0,0864
D:Bloco	1,81188	2	0,90594		
INTERACTIONS					
AB	0,204102	1	0,204102	1,45	0,2380
AC	0,122756	3	0,0409187	0,29	0,8318
BC	0,0504562	3	0,0168187	0,12	0,9479
ABC	0,153456	3	0,0511521	0,36	0,7799
RESIDUAL	4,22332	30	0,140777		
TOTAL (CORRECTED)	8,26075	47			

Todas as relações F são baseadas no erro quadrático médio residual.