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

RODRIGO ZANELLA

EFEITO RESIDUAL DA ANTECIPAÇÃO DA ADUBAÇÃO, APLICADA NA CULTURA DA AVEIA, SOBRE O DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO
2019

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

RODRIGO ZANELLA

EFEITO RESIDUAL DA ANTECIPAÇÃO DA ADUBAÇÃO, APLICADA NA CULTURA DA AVEIA, SOBRE O DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO
2019

RODRIGO ZANELLA

EFEITO RESIDUAL DA ANTECIPAÇÃO DA ADUBAÇÃO, APLICADA NA CULTURA DA AVEIA, SOBRE O DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA

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

Orientador: Prof. Dr. Luís César Cassol

Coorientador: Prof. Dr. Giovani Benin

PATO BRANCO

2019

Z28e Zanella, Rodrigo.
Efeito residual da antecipação da adubação, aplicada na cultura da aveia, sobre o desempenho agronômico da soja / Rodrigo Zanella. -- 2019.
70 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Luís César Cassol
Coorientador: Prof. Dr. Giovani Benin
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2019.
Bibliografia: f. 59 - 70.

1. Adubos e fertilizantes. 2. Cobertura dos solos. 3. Cultivos de cobertura. I. Cassol, Luís César, orient. II. Benin, Giovani, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDD (22. ed.) 630

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

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

TERMO DE APROVAÇÃO

EFEITO RESIDUAL DA ANTECIPAÇÃO DA ADUBAÇÃO, APLICADA NA CULTURA DA AVEIA, SOBRE O DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA

por

RODRIGO ZANELLA

Dissertação apresentada às 14 horas do dia 28 de março de 2019 como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Fertilidade e Manejo do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

Profª. Drª. Tangriani Simioni Assmann
UTFPR

Prof. Dr. Volnei Pauletti
UFPR

Prof. Dr. Luís César Cassol
UTFPR
Orientador

Prof. Dr. Alcir José Modolo
Coordenador do PPGAG

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

Dedico a realização deste trabalho a minha família e, as pessoas que, de uma forma ou outra, contribuíram na execução deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e oportunidades encontradas.

Ao apoio de minha família, meus pais Pedro Zanella e Marlova Comunello Zanella, minha irmã Patricia Zanella, pela educação, apoio e auxílio durante toda minha vida. E também de minha namorada Viviane Rimoldi, pela compreensão, incentivo e ajuda nos momentos difíceis.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luís César Cassol, e coorientador Prof. Dr. Giovani Benin, pela valiosa orientação, aconselhamentos, dedicação e todos os conhecimentos transmitidos durante minha formação como Eng. Agrônomo e Mestre em Agronomia.

Aos colegas e amigos da UTFPR, em especial aos meus colegas de trabalho do grupo de melhoramento genético de soja e trigo e do laboratório de solos, que me auxiliaram na execução desse e de inúmeros outros trabalhos, além de proporcionarem momentos felizes em minha vida, tenho esperança que nossa amizade nunca se dissipe, mesmo trilhando caminhos diferentes.

Aos professores e servidores da UTFPR e a Capes pela oportunidade de aprendizado e pelo apoio financeiro e estrutural para realização desta pesquisa.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de aprendizado e crescimento pessoal e profissional durante toda minha graduação e aperfeiçoamento com o mestrado.

Por fim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para minha formação como mestre.

“Aprender é a única coisa que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

ZANELLA, Rodrigo. Efeito residual da antecipação da adubação, aplicada na cultura da aveia, sobre o desempenho agronômico da soja. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Solos e Sistemas Integrados de Produção Agropecuária), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

Vários são os processos que afetam a produtividade final da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), os quais são intrínsecos ao ambiente em que a cultura se encontra. Discute-se sobre a adubação estar relacionada com todo o sistema de cultivo, podendo ser antecipada ou parcelada na cultura antecedente à cultura de verão, visando proporcionar alto aporte de palha, incrementos de matéria orgânica, melhor fornecimento e mineralização de nutrientes, com boa disponibilidade e quantidade dos mesmos, contribuindo para altas produtividades. O objetivo foi avaliar diferentes níveis e formas de adubação para a cultura da soja, com a cultura antecedente sendo a aveia preta (*Avena Strigosa*). O experimento foi conduzido nos municípios de Bom Sucesso do Sul e Itapejara d' Oeste, ambos na região Sudoeste do Paraná. O delineamento experimental foi bifatorial 3x4, composto por três manejos de adubação (1- toda a adubação realizada na semeadura da aveia preta; 2- parcelamento da adubação com 50% na semeadura da aveia preta e 50% na semeadura da soja; 3- aveia preta sem adubação e toda a adubação realizada na semeadura da soja), combinados com quatro níveis de adubação (0, 100, 200 e 300% da dose recomendada), definidos de acordo com a análise do solo e expectativa de produção de soja de 4,1 a 5 t ha^{-1}. Foram avaliados caracteres da aveia preta e soja, sendo os da aveia: massa seca; acúmulo e liberação de nutrientes da palhada; e os da soja: rendimento de grãos; massa de mil grãos; estatura de plantas; número de nós produtivos; número de legumes por planta e número de grãos por legume. Para a cultura da aveia preta maior acúmulo de massa seca foi obtido em níveis de adubação maiores, com maior resposta quando a adubação foi toda realizada nesta cultura. O acúmulo de fósforo e potássio pela aveia preta aumentou linearmente com o aumento dos níveis de adubação. Para N, o maior valor acumulado ocorreu no nível de 200%, decrescendo no nível de 300%. A liberação de nutrientes pela palhada de aveia é dependente do nutriente e condições de clima, sendo o potássio altamente disponível e nitrogênio e fósforo sujeitos a imobilização microbiana. Já a cultura da soja, nas condições avaliadas, não aumentou a produtividade com o aumento nos níveis de adubação, antecipação e parcelamento da adubação, indicando que a adubação de sistema é prática viável no cultivo de soja.

Palavras-chave: Adubação de sistema; Formas de aplicação de adubo; Liberação de nutrientes; Níveis de adubação.

ABSTRACT

ZANELLA, Rodrigo. Residual effect of the anticipation of fertilizer, applied in oat culture, on the agricultural performance of soybean. 70f. Dissertation (Masters in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Concentration Area: Soils and Integrated Agricultural Production Systems), Federal University of Technology Paraná. Pato Branco, 2019.

There are many processes that influencing the final yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill), which are intrinsic to the environment in which the crop is cultivate. Fertilization is related to the whole cropping system, which can be anticipated or parceled in the crop antecedent to the summer crop, aiming to provide a high yield of straw, increases of organic matter, better supply and mineralization of nutrients, with better availability and quantity, contributing to high yield. This aim of this work was evaluate different levels and forms of fertilization for the soybean crop in the antecedent crop of black oats *(Avena Strigosa)*. The experiments were conducted in the municipalities of Bom Sucesso do Sul and Itapejara d 'Oeste, both located in the southwestern region of Paraná State. The experimental design was a bifactorial (3 by 4), composed by three fertilization managements (1 - all the fertilization done in the sowing of black oats, 2 - fertilization with 50% in black oats and 50% in soybean sowing, 3 - black oats without fertilization and all the fertilization carried out in the sowing of soybean), combined with different levels of fertilization (0, 100, 200 and 300% of ideal doses), defined according to the soil analysis and production expectation of 4.1 to 5 t ha^{-1}. . The traits of black oats and soybean were evaluated, being oats: dry matter; accumulation and release of nutrients from straw; and soybean traits: grain yield; thousand grains weight; plants height; number of productive nodes; number of pods per plant and number of grains per pod. For the cultivation of black oats, greater accumulation of dry matter was obtained at higher levels of fertilization, with higher response when anticipated fertilization. The accumulation of phosphorus and potassium in black oats showed a linear type, with increases in fertilization levels. For N the highest accumulated value was observed at the 200% level, decreasing at the 300% level. The release of nutrients by oat straw is dependent on nutrient and climatic conditions, with potassium being highly available and nitrogen and phosphorus being subject to microbial immobilization. On the other hand, the soybean crop, under the conditions evaluated, does not increase the productivity with the increase of the levels of fertilization, anticipation and fertilization, indicating that the fertilization of the system is viable practice in soybean cultivation.

Keywords: System fertilization; Forms of application; Release of nutrients; Levels of fertilization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Dados meteorológicos observados durante o período experimental no ano de 2017/2018 para os ambientes de Bom Sucesso do Sul (A) e Itapejara d´ Oeste (B). Fonte: Simepar.....38

Figura 2 – Produção de massa seca da parte aérea de aveia em quatro ambientes (Ambientes: 1- Bom Sucesso do Sul - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 2- Bom Sucesso do Sul - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja; 3- Itapejara d' Oeste - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 4- Itapejara d' Oeste - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja) em função de diferentes níveis de adubação. Pato Branco-PR, 2019.....40

Figura 3 – Acúmulo de nitrogênio pela parte aérea de aveia em resposta a diferentes níveis de adubação (A) e em diferentes ambientes (Ambientes: 1- Bom Sucesso do Sul - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 2- Bom Sucesso do Sul - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja; 3- Itapejara d' Oeste - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 4- Itapejara d' Oeste - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja) (B). Médias seguidas com letras minúsculas entre ambientes, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. Pato Branco-PR, 2019. 41

Figura 4 – Aspecto visual da parte aérea de aveia em resposta a diferentes níveis de adubação, com antecipação de adubação (A) e parcelamento de adubação (B). Pato Branco-PR, 2019.....42

Figura 5 – Acúmulo de fósforo pela parte aérea de aveia em quatro ambientes (Ambientes: 1- Bom Sucesso do Sul - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 2- Bom Sucesso do Sul - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja; 3- Itapejara d' Oeste - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 4- Itapejara d' Oeste - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja) em função de diferentes níveis de adubação. Pato Branco-PR, 2019. 43

Figura 6 – Acúmulo de potássio pela parte aérea de aveia em quatro ambientes (Ambientes: 1- Bom Sucesso do Sul - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 2- Bom Sucesso do Sul - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja; 3- Itapejara d' Oeste - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 4- Itapejara d' Oeste - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja) em função de diferentes níveis de adubação. Pato Branco-PR, 2019. 44

Figura 7 – Matéria seca remanescente de aveia durante o período de 120 dias após a deposição na superfície do solo em diferentes ambientes (Ambientes: 1- Bom Sucesso do Sul - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 2- Bom Sucesso do Sul - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja; 3- Itapejara d' Oeste - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 4- Itapejara d' Oeste - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja). Pato Branco-PR, 2019. 47

Figura 8 – Precipitação observada no mês de outubro de 2017 para os ambientes de Bom Sucesso do Sul-PR (A) e Itapejara d' oeste-PR (B). Pato Branco-PR, 2019. 48

Figura 9 – Potássio remanescente (A) e liberação acumulada de potássio (B) durante 120 dias após a deposição da massa de aveia no solo (média de 4 ambientes e 4 níveis de adubação). Pato Branco-PR, 2019. 49

Figura 10 – Potássio remanescente (A) e liberação acumulada de potássio (B) durante 120 dias de avaliação, em função de níveis crescentes de adubação. Pato Branco-PR, 2019. 50

Figura 11 – Potássio remanescente (A) e liberação acumulada de potássio (B) durante 120 dias de avaliação, em função de diferentes ambientes (Ambientes: 1- Bom Sucesso do Sul - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 2- Bom Sucesso do Sul - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja; 3- Itapejara d' Oeste - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 4- Itapejara d' Oeste - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja). Pato Branco-PR, 2019. 50

Figura 12 – Rendimento de grãos (RG) (A), Massa de mil grãos (MMG) (B), Número de legumes planta^{-1} (NLP) (C); Número de grãos Legume^{-1} (NGL) (D); Número de nós

produtivos (NNP) (E) e Estatura de plantas (cm) (EST) (F) de soja, em função de diferentes níveis de adubação. Pato Branco-PR, 2019.....52

Figura 13 – Rendimento de grãos (RG) (A), massa de mil grãos (MMG) (B), número de legumes planta^{-1} (NL) (C); número de grãos legume^{-1} (NGL) (D); número de nós produtivos (NNP) (E) e estatura de plantas (cm) (EST) (F), em função de diferentes ambientes (Ambientes: 1- Bom Sucesso do Sul - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 2- Bom Sucesso do Sul - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja; 3- Bom Sucesso do Sul - PR Adubação tradicional no cultivo da Soja; 4 Itapejara d' Oeste - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 4- Itapejara d' Oeste - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja; 6- Itapejara d' Oeste – PR Adubação tradicional no cultivo da Soja). Médias seguidas com letras minúsculas entre ambientes, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.....54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características químicas dos solos nos municípios de Bom Sucesso do Sul-PR e Itapejara d'Oeste-PR, antes do início do experimento. UTFPR, Pato Branco - PR, 2019. 31

Tabela 2 – Características granulométricas de 0-20 cm dos solos nos municípios de Bom Sucesso do Sul-PR e Itapejara d'Oeste-PR. UTFPR, Pato Branco - PR, 2019. 31

Tabela 3 – Teores disponíveis no solo de P e K, classes de interpretação, e requerimento de nutrientes para a cultura da soja com expectativa de produção de 4,1 a 5 t ha^{-1}, segundo o Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017). UTFPR, Pato Branco - PR, 2019. 32

Tabela 4 – Descrição dos ambientes utilizados em análises. UTFPR, Pato Branco - PR, 2019. 33

Tabela 5 – Quadrados médios da análise da variância conjunta, incluindo as fontes de variação, graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis massa seca (MS), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). UTFPR, Pato Branco - PR, 2019. 39

Tabela 6 – Parâmetros do modelo exponencial simples, ajustados aos valores medidos para matéria seca remanescente, nitrogênio remanescente, fósforo remanescente e potássio remanescente, constante de decomposição (Ka), tempo de meia vida (t1/2) do compartimento e valores de R^2. UTFPR, Pato Branco - PR, 2019. 45

Tabela 7 – Quadrados médios da análise da variância conjunta, incluindo as fontes de variação, graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis rendimento de grãos (RG), massa de mil grãos (MMG), estatura (EST), número de nós produtivos (NNP), número de legumes $planta^{-1}$ (NLP) e número de grãos por legume (NGL). UTFPR, Pato Branco - PR, 2019. 51

Tabela 8 – Preços médios de fertilizantes e soja de 2009-2018. UTFPR, Pato Branco - PR, 2019. 55

Tabela 9 – Relação entre custo do fertilizante, incremento de rendimento e lucratividade proporcionada pela aplicação de níveis de adubação em relação ao recomendado para a cultura no estado do Paraná. UTFPR, Pato Branco - PR, 2019. 56

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

%	Porcentagem
ATP	Adenosina trifosfato
C	Carbono
Ca	Cálcio
CTC	Capacidade de troca de cátions
cmolc dm^{-3}	Centimol de carga por decímetro cúbico
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
dm^{-3}	Decímetro cúbico
DNA	Ácido desoxirribonucléico
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EST	Estatura de plantas
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio
H	Hidrogênio
ha	Hectare
Kg ha^{-1}	Quilogramas por hectare
K	Potássio
M.O	Matéria orgânica
Mg	Magnésio
MS	Massa Seca
MSR	Matéria Seca Remanescente
N	Nitrogênio
NLP	Número de Legumes por Planta
NGL	Número de Grãos por Legume
P	Fósforo
MMG	Massa de Mil Grãos
PR	Unidade da Federação – Paraná
PIB	Produto Interno Bruto
RG	Rendimento de Grãos
RNA	Ácido ribonucleico
RR	Roundoup Ready
RR2	Roundoup Ready 2
S	Enxofre
USDA	United States Department of Agriculture
V(%)	Saturação por bases

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16
1.1 HIPÓTESE.....18
1.2 OBJETIVOS.....18
1.2.1 Geral 18
1.1.2 Específicos 18
2 REFERENCIAL TEÓRICO 19
2.1 IMPORTÂNCIA DA SOJA E DA AVEIA NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO 19
2.2 ADUBAÇÃO TRADICIONAL NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....20
2.3 ADUBAÇÃO DE SISTEMA 22
2.4 NUTRIÇÃO DA SOJA 24
2.4.1 Nitrogênio 25
2.4.2 Fósforo.....26
2.4.3 Potássio 27
2.4.4 Cálcio, Magnésio e Enxofre 28
2.5 MINERALIZAÇÃO DE NUTRIENTES E DISPONIBILIDADE.....28
3 MATERIAL E MÉTODOS 31
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS 31
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....31
3.3 CARACTERES AVALIADOS 33
3.3.1 Aveia Preta.....34
3.3.1.1 Caracteres agronômicos avaliados:.....34
3.3.1.2 Taxa de liberação de nutrientes da palhada de aveia – Litter bags 34
3.3.2 Soja.....36
3.3.2.1 Caracteres agronômicos avaliados:.....36
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS 37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 38
4.1 DADOS METEOROLÓGICOS.....38
4.2 AVEIA.....39
4.2.1 Produção de Massa Seca.....39
4.2.2 Acúmulo de Nitrogênio.....41
4.2.3 Acúmulo de Fósforo 42
4.2.4 Acúmulo de Potássio 43
4.3 DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE AVEIA E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES.....45
4.3.1 Decomposição da Matéria Seca 45
4.3.2 Liberação de Potássio 48

4.4 SOJA 51
4.5 VIABILIADE ECONÔMICA 55
5 CONCLUSÕES 57
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 58
REFERÊNCIAS.....59

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é amplamente cultivada no Brasil, sendo a principal *commodity* do setor agrícola, com grande importância econômica. A produção mundial, estimada para a safra 2018/2019, é aproximadamente 369,3 milhões de toneladas (USDA, 2018), sendo o Brasil responsável por cerca de 120 milhões de toneladas (CONAB, 2018).

Dados históricos evidenciam grandes avanços na produtividade da soja brasileira, passando de uma média de aproximadamente 1.700 kg ha^{-1} no final da década de 70, para 3.354 kg ha^{-1} na safra 2018/2019 (CONAB, 2018). O melhoramento genético, com o desenvolvimento de cultivares adaptadas as condições edafoclimáticas, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias para o manejo da cultura, trazem incrementos produtivos (DEBIASSI et al., 2013; ROWNTREE, 2013). Porém, vale ressaltar que os mesmos dados históricos demonstram uma certa estagnação na produtividade de soja nos últimos anos, mantendo-se com médias em torno de 3.000 kg ha^{-1}.

Além do melhoramento genético, o manejo da adubação é outro fator relevante para aumentos de produtividade. A adubação na cultura da soja pode ser realizada no sulco de semeadura ou a lanço na superfície do solo, levando-se em conta o tipo de solo, a mobilidade e a dinâmica de cada nutriente ofertado (CÂMARA, 2015; BARBOSA et al., 2015). O manejo da fertilização é capaz de interferir diretamente nas reações que ocorrem entre o fertilizante e o solo e na disponibilidade para as plantas (FIORIN; VOGEL; BORTOLOTTO, 2016).

Dentre as filosofias de adubação, uma delas pode ser conceituada como adubação de sistema e/ou antecipação de adubação e é caracterizada pela antecipação da aplicação total ou parcial da dose recomendada de fertilizante para a cultura de verão, no momento de instalação da cultura antecedente (FRANCISCO et al., 2007). Nesta operação também é antecipada a manipulação dos fertilizantes, tornando o processo de semeadura da cultura de verão mais ágil, propiciando o aproveitamento de melhores condições de semeadura na safra de verão (MATOS; SILVA; MILAN, 2006).

A antecipação ou parcelamento de adubação da soja na cultura

antecedente pode ser prática viável com resposta produtiva (SILVA; LAZARINI, 2014; FOLONI; ROSOLEM, 2008). O sucesso deste sistema depende da produção e manutenção de fitomassa sobre o solo o maior tempo possível, assim como da liberação de nutrientes em superfície, que via mineralização da matéria orgânica, vão passar às formas disponíveis à cultura de verão em sucessão (BAYER et al., 2000; SILVA; ROSOLEM, 2001; KURIHARA; HERNANI, 2011).

No entanto, a decisão de antecipar a adubação ainda suscita algum debate. Especificamente em relação a adubação fosfatada essa decisão deve ser vista com cautela, pois em solos de mineralogia caulinítica e oxídica, com baixo nível do nutriente, além de baixo teor de matéria orgânica, a adsorção do P à superfície das partículas é alta e a contribuição do fósforo orgânico é baixa. Neste caso a aplicação do fertilizante se torna mais eficiente quando utilizado na cultura de verão (KURIHARA; HERNANI, 2011).

Por outro lado, independente da época de aplicação dos fertilizantes, resultados positivos foram obtidos com aumentos dos níveis de adubação para a cultura da soja em solos de média a baixa fertilidade (ARAUJO et al., 2005; GONÇALVES JÚNIOR, 2010; DUARTE et al., 2016). Por sua vez, em solos com bons níveis de nutrientes, aumentar os níveis de adubação não tem se mostrado uma prática capaz de aumentar a produtividade dos cultivos (LACERDA et al., 2015).

Exigências nutricionais de uma cultura podem ser supridas pelo fornecimento de doses equilibradas de fertilizantes, combinadas com a época e modo de aplicação (GUARESCHI et al., 2011). A adoção do sistema plantio direto promove melhorias em atributos físicos, químicos e biológicos do solo e a introdução de culturas de cobertura possibilita a adubação do sistema, com a antecipação dessa prática em relação à semeadura (SILVA; ROSOLEM, 2001; PAVINATO; CERETA, 2004).

Neste sentido, são necessários trabalhos com o parcelamento e antecipação de adubação, buscando melhorar o entendimento sobre o fornecimento e ciclagem de nutrientes no solo a médio e longo prazo, visando trazer incrementos em produtividade, e melhor uso dos recursos disponíveis.

1.1 HIPÓTESE

A adubação de sistema é prática viável para o cultivo de soja em sucessão a aveia preta, favorecendo a distribuição homogênea do fertilizante no período de inverno e aumentando a produção de massa seca da aveia e rendimento de grãos na soja no verão.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Determinar estratégia de aplicação e dose de adubo para a soja cultivada após aveia preta em solos de alta fertilidade e em sistema plantio direto.

1.1.2 Específicos

Avaliar características agronômicas da aveia preta em função da antecipação, parcelamento e ausência de adubação.

Avaliar a taxa de liberação de nutrientes da aveia preta em função da antecipação, parcelamento e ausência de adubação.

Determinar qual a melhor forma de aplicação e nível de adubação a ser utilizado para a cultura da soja para o cultivo em plantio direto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 IMPORTÂNCIA DA SOJA E DA AVEIA NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

As culturas da soja e da aveia são muito importantes nos sistemas de produção do Sul do Brasil. A soja, principal *commodity* do setor agrícola, espraiada por todo o Brasil, é responsável por grande parte do PIB brasileiro, pelo fato do Brasil ser o segundo maior exportador mundial deste produto. Por sua vez, as aveias, tanto preta como branca, são importantes culturas em sistemas integrados de produção, destinadas ao pastejo animal, além de cumprirem excelente papel como plantas de cobertura de solo no sistema plantio direto.

Embora seja uma cultura que inicialmente se adaptou melhor no Rio Grande do Sul, atualmente a soja é cultivada em todo o Brasil, graças ao desenvolvimento de cultivares adaptadas e com período juvenil longo, retardando o florescimento, em regiões de baixa latitude como o Cerrado brasileiro (HARTWIG; KIIHL, 1979) e possibilitando plantios antecipados (LU et al., 2015).

O emprego de biotecnologias por grandes empresas neste setor são constantes para a cultura da soja, com grande difusão dos cultivos geneticamente modificados através da soja RR, e mais recentemente a soja RR2. O uso de biotecnologias trouxe ganhos econômicos para os produtores agrícolas, como: redução de custos, aumento da produtividade e aumento da eficiência na administração do controle de pragas.

Através de melhorias na fitotecnia da cultura e ganho genético de novas cultivares, o Brasil tornou-se o segundo maior produtor da oleaginosa, atrás somente dos Estados Unidos (CONAB, 2018). Na safra 2018/2019 a estimativa de produção de soja no Brasil é de 120 milhões de toneladas, representando 32% da produção mundial.

Diante da grande demanda mundial por produtos agrícolas, o Brasil pode ocupar a liderança como fornecedor. Dentre os inúmeros produtos exportados, a soja é o produto mais lucrativo, com mais da metade da produção brasileira destinada à exportação. Atualmente, Estados Unidos, Brasil e Argentina são responsáveis por 87% do total da soja comercializada e até 2025 o Brasil tende a ser o maior produtor

mundial da oleaginosa (OECD/FAO, 2016).

A aveia preta (*Avena strigosa* Scherb), por sua vez, é uma espécie diploide, comumente utilizada para cobertura do solo no cultivo antecedente as culturas de verão. Este cereal desempenha importante papel no sistema plantio direto, fornecendo alto aporte de palha com elevada relação C/N e lenta decomposição (FEDERIZZI et al., 2014). Além de ser uma importante reserva de nutrientes às culturas de verão, mantêm o solo coberto até o estabelecimento da cultura sucessora (CRUSCIOL et al., 2008), contribuindo para manutenção de umidade no solo (FERRARI et al., 2014).

A cultura da aveia caracteriza-se pela rusticidade, alta capacidade de perfilhamento, rapidez na cobertura do solo e elevada produção de fitomassa, mesmo em condições de menor fertilidade. Possui sistema radicular agressivo, sendo eficiente em extrair e reciclar nutrientes (CALEGARI, 2001; BORTOLINI et al., 2000) principalmente, N, P e K, evitando a lixiviação ou imobilização, tornando-os disponíveis às culturas subsequentes (CRUSCIOL et al., 2008).

Possui efeito alelopático em plantas daninhas através da produção de ácidos fenólicos, cumáricos, siríngico e vanílico (GUENZI; MCCALLA, 1966), inibindo o poder germinativo e desenvolvimento de plantas como azevém e amendoim-bravo (HAGEMANN et al., 2010).

Estima-se que a utilização da aveia preta seja em torno de 30% em relação às demais espécies usadas nas rotações e sucessões de cultura (CALEGARI, 2001), visto que é uma alternativa barata e de fácil manejo.

Atualmente o cultivo de aveia no Brasil, envolvendo aveia preta (*Avena strigosa* Scherb) e aveia branca (*Avena sativa*), ocupa uma área de 299,4 mil hectares, sendo 284,4 mil hectares cultivados na região sul (CONAB, 2018).

2.2 ADUBAÇÃO TRADICIONAL NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Entende-se por adubação tradicional aquela efetuada por culturas, após diagnóstico da fertilidade do solo via análise química. Nesse modelo definem-se doses e produtos, os quais são aplicados no estabelecimento de cada cultura (inverno e verão), com uso de doses em cobertura, dependendo da espécie.

A exportação de macronutrientes por tonelada de grãos de soja é de, aproximadamente, 59,2 kg de N, 5,5 kg de P, 18,8 kg de K, 2,9 kg de Ca, 2,3 kg de Mg e 3 Kg de S (IPNI, 2017). A falta de uma reposição adequada dos nutrientes, associado com problemas climáticos, são os fatores que mais limitam a produtividade da soja. Práticas conservacionistas de solo e fontes de adubo adaptadas às diferentes condições de solo são influentes neste quesito, onde o estabelecimento do manejo químico do solo, com fornecimento de P, K, S e micronutrientes pode aumentar a produtividade (VITTI; TREVISAN, 2000).

Atualmente, a cultura apresenta potencial para superar 6.000 kg ha^{-1}, em condições de campo (SEDIYAMA, 2014; BATTISTI et al., 2018; CESB, 2018). Para isto, é necessário ter boa disponibilidade de nutrientes, sendo que quanto maior a expectativa de produtividade, maior deve ser o fornecimento de nutrientes à cultura (FAGERIA, 2009). A porcentagem média de rendimento atribuível ao uso de fertilizantes situa-se entre 40 a 60% nos Estados Unidos e na Inglaterra, com tendência a ser muito maior nos trópicos (STEWART et al., 2005).

As adubações na cultura da soja comumente utilizadas são realizadas a lanço ou no sulco de semeadura com respostas dependentes das fontes e formulações de fertilizantes utilizadas, com diferentes nutrientes, formas químicas, granulometria e eficiência (FIORIN; VOGEL; BORTOLOTTO, 2016; HANSEL et al., 2014). As formulações NPK são as mais utilizadas, com boas respostas produtivas ao seu uso (TORRES et al., 2015) ou simplesmente PK, aproveitando-se da capacidade de fixação biológica de nitrogênio por parte da soja, desde que a semente seja corretamente inoculada. Ainda, visando evitar efeitos salinos no sulco de semeadura, boa parte das áreas cultivadas fazem uso da aplicação de potássio a lanço, em pré-semeadura, ou em cobertura após emergência da cultura (JUNIOR et al., 2013).

Embora os manuais de adubação já prevejam a possibilidade de antecipação total ou parcial da adubação da soja, quando cultivada após trigo ou cevada (SBCS/NEPAR, 2017), esta prática requer condições adequadas de fertilidade do solo. Além disso, para boa parte dos produtores, o modelo tradicional, com adubação NPK ou PK no sulco de semeadura, preferencialmente conciliando com doses já padronizadas por outros cultivos, é o mais difundido e utilizado. Essa prática se justifica pela comodidade e, talvez, por uma certa insegurança por parte do

produtor, no sentido de entender que um nutriente aplicado antecipadamente pode ter boa eficiência de uso por parte de uma cultura posterior.

Para a cultura da soja, respostas produtivas são dependentes dos fatores relacionados ao solo e clima, com resultados positivos ao aumento nos níveis de adubação (JUNIOR et al., 2010), ou mesmo sem decréscimo em produtividade na ausência da adição de fertilizantes (LACERDA et al., 2015) quando realizados tradicionalmente na implantação da cultura.

2.3 ADUBAÇÃO DE SISTEMA

A adubação de sistema e/ou antecipação de adubação é caracterizada pela antecipação da aplicação, total ou parcial, da dose recomendada de fertilizante para a cultura de verão, no momento de instalação da cultura antecedente (FRANCISCO et al., 2007).

O manejo da adubação é um conjunto de práticas planejadas e organizadas com a finalidade de fornecer de forma eficiente e econômica os fertilizantes às culturas. Manejar corretamente a adubação consiste em um conjunto de decisões de como, qual fonte, quando e que quantidade utilizar de fertilizantes visando a maior eficiência técnica e econômica (CERETA; SILVA; PAVINATTO, 2007), que atrelada ao controle de pragas e doenças contribui para o aumento de produtividade (FAGERIA, 2009).

Um fator comum entre a maioria dos agricultores detentores de recordes de produtividade no mundo é a habilidade em identificar e manter um ambiente altamente produtivo no solo (HOEFT, 2003). Solo estruturado, elevados teores de matéria orgânica, baixa resistência a penetração, alta capacidade de infiltração e armazenamento de água, combinados a níveis altos de nutrientes caracterizam ambientes de alto potencial produtivo.

Práticas conservacionistas como à adoção do sistema plantio direto juntamente com a rotação de culturas, trazem aumentos produtivos ao longo do tempo, melhorando o armazenamento de água no solo (FRANCHINI et al., 2012; JIN et al., 2011; ENGEL et al., 2009; MBUTHIA et al., 2015). Estas etapas são importantes para obter altas produtividades, onde o manejo da cultura antecedente terá grande

influência em cultivos posteriores.

Trabalhos com adubação fosfatada envolvendo culturas de soja, milho e cereais de inverno, relatam maiores respostas de trigo e cevada a doses de P que a cultura da soja, especialmente quando os teores no solo são altos ou muito altos, propondo assim a antecipação das adubações de P da soja no cultivo antecedente de inverno (VIEIRA et al., 2015). O mesmo pode ser afirmado para o potássio, onde em alta disponibilidade do nutriente no solo, o fornecimento da adubação da soja na cultura de inverno (trigo, cevada e aveia branca) é indicada devido a maior resposta destas culturas (VIEIRA et al., 2016), trazendo benefícios no acúmulo de matéria seca no cultivo de inverno, bem como na distribuição de P e K de maneira mais uniforme.

A antecipação da adubação de P e K recomendada para soja, realizada no cultivo antecedente cultivado com capim pé-de-galinha (*Eleusine coracana*), não alterou as produtividades da soja quando comparada com toda a adubação realizada em sua semeadura, demonstrando ser uma prática eficiente. Além disso, a antecipação de adubação contribuiu para o aumento de matéria seca pelo capim pé-de-galinha (FRANCISCO et al., 2007).

Na cultura da soja, Foloni; Rosolem (2008) concluíram que para adubação potássica, a antecipação de doses de 90 kg ha^{-1} de K_2O na cultura do milheto, pode ser feita sem comprometimento de rendimento da lavoura comercial, corroborando com Silva; Lazarinni (2014), onde a adubação potássica de manutenção pode ser totalmente antecipada na cultura de cobertura. Isso é explicado pela rápida liberação do nutriente do material vegetal, devido a não estar ligado com cadeias carbônicas, fazendo da palhada um reservatório expressivo de K no curto prazo (ROSOLEM; CALONEGO; FOLINI, 2003; CALONEGO et al., 2005; ROSOLEM et al., 2007).

Altas doses de potássio, acima de 80 kg K_2O ha^{-1}, no sulco de semeadura, devem ser evitadas, devido ao efeito salino e, em algumas situações, em razão das perdas por lixiviação, principalmente em solos arenosos, com baixa capacidade de troca de cátions, aonde o efeito salino também é agravado (BERNARDI et al., 2009; ERNANI et al., 2007).

Para Martinazzo et al. (2007) efeitos lineares da adubação fosfatada a lanço, executada na semeadura de azevém, foram obtidos sobre a produção de

massa seca da parte aérea desta gramínea e a produtividade da soja em sucessão. Por outro lado, quando aplicado as mesmas quantidades de P na semeadura da soja, houve comportamento quadrático as doses de P, com produtividade superior àquela obtida com o efeito residual da adubação da gramínea.

Além dos efeitos sobre a produtividade na cultura de verão, a antecipação da adubação para o período de inverno encontra melhores condições climáticas para o aproveitamento de nutrientes, principalmente para o nitrogênio em função de menores perdas para a atmosfera. Zhang et al. (2017), analisando os efeitos de emissões de gases de efeito estufa devido ao uso de fertilizantes no sistema de cultivo trigo-soja, concluem que as perdas de CO_2 e N_2O são maiores no período de verão, mesmo com as aplicações de fertilizantes realizadas somente no cultivo de inverno.

Neste sentido, o parcelamento e antecipação de adubação traz maior agilidade no processo e semeadura da cultura de verão, auxiliando também na minimização de efeitos salinos no sulco de semeadura causados por doses elevadas de fertilizantes, principalmente ao utilizar formulados NPK com cloreto de potássio em sua composição. Além de melhor otimização do maquinário, também têm-se melhor absorção dos nutrientes pela cultura de inverno, em geral pelo maior número de plantas por hectare, menor custo da adubação em virtude do menor valor dos insumos nesse período, aumento na produção de biomassa, redução da relação C/N nas plantas poaceas, além de menor perda de nitrogênio para a atmosfera. As consequências disso tudo são ganhos operacionais, econômicos e ao ambiente.

2.4 NUTRIÇÃO DA SOJA

Para cada tonelada de grãos de soja produzida são exportados, pelos grãos, 59,2 kg de N, 12,6 kg de P_2O_5, 22,5 kg de K_2O, 2,9 kg de Ca, 2,3 kg de Mg e 3 Kg de S (IPNI, 2017). Porém, a extração total é superior, necessitando de aproximadamente 83 kg de N, 15,4 kg de P_2O_5, 38 kg de K_2O, 12,2 kg de Ca, 6,7 kg de Mg e 15,4 Kg de S para produzir uma tonelada de grãos (TECNOLOGIAS, 2011).

2.4.1 Nitrogênio

O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pelas plantas, sendo constituinte de aminoácidos, proteínas, ácidos nucléicos e clorofila (BLOOM, 2009). É o nutriente mais exigido pela cultura da soja, sendo necessários entre 66 e 83 kg de N para produção de uma tonelada de grãos (HUNGRIA et al., 2007; IPNI, 2017).

Pode ser fornecido para a cultura de diferentes maneiras, por meio do N mineral presente no solo, através da mineralização da matéria orgânica, do uso de fertilizantes e pela simbiose da planta com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (AMADO; SCHLEINDWEIN; FIORIN, 2010).

A FBN (Fixação Biológica de Nitrogênio), se bem estabelecida, pode fornecer até 85% do N requerido pela cultura, sendo o restante proveniente do solo, através da matéria orgânica, ou de fontes externas (AMADO; SCHLEINDWEIN; FIORIN, 2010). Já, Salvagiotti et al. (2008) relatam que a FBN é capaz de fornecer em média 50% do N requerido pela cultura. A demanda de nitrogênio fornecida pela FBN vem sendo muito exigida a medida que os rendimentos da cultura da soja continuam a aumentar (WILSON et al., 2013).

O uso de pequenas doses de N na semeadura (até 20 kg ha^{-1}) podem contribuir para um melhor estabelecimento inicial da cultura e favorecer o desenvolvimento das raízes (FANCELLI, 2015). Porém, pesquisas têm demonstrado que doses superiores a 20 kg ha^{-1} de N podem ser prejudiciais (SILVA et al., 2011). Assim, o fornecimento de N a cultura deve ser realizado com cautela, podendo ter impactos negativos na formação de rizóbios. Além disto, deficiências de P, K e S podem reduzir o crescimento e número de nódulos (DIVITO; SANDRAS, 2014).

A recomendação para a soja no estado do Paraná sugere o uso da FBN com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, procedendo a inoculação na semente com inoculantes turfosos ou líquidos ou no sulco de semeadura, dispensando o uso da adubação nitrogenada com fertilizantes minerais (SBCS/NEPAR, 2017).

2.4.2 Fósforo

O fósforo é componente de diversos compostos importantes das células vegetais, atuando na fotossíntese e geração de energia pela planta, com grande importância no metabolismo energético, na forma de ATP, e também no DNA e RNA (BLOOM, 2009).

Para a soja, o fósforo apresenta baixa exportação comparado a nutrientes como nitrogênio e potássio, porém altas doses do nutriente são aplicadas nos cultivos devido a sua alta capacidade de adsorção nos solos tropicais (VITTI; TREVISAN, 2000), em função da elevada presença de caulinita e óxidos de ferro e alumínio.

A dinâmica do fósforo nos solos é fortemente influenciada pela fase sólida orgânica e inorgânica, pela atividade biológica e pelos fatores ambientais. Os solos altamente intemperizados contêm naturalmente baixos níveis de P disponíveis para as plantas e têm elevada capacidade de adsorção (CAMPOS; ANTONANGELO; ALLEONI, 2016), porém adubações equilibradas a longo prazo diminuem a energia de ligação e a capacidade de adsorção de P no solo, bem como aumenta o seu potencial de dessorção (BHATTACHARYYA et al., 2015).

Práticas como o plantio direto podem melhorar a disponibilidade de fósforo no solo devido a melhoria de atributos químicos e biológicos do solo (FINK et al., 2016), além da redução da superfície de contato do adubo com o solo, reduzindo a capacidade de adsorção. Porém, em função da baixa mobilidade do elemento no solo, favorece a concentração do nutriente nas camadas superficiais (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

Devido a dinâmica do elemento (baixa mobilidade no perfil do solo) aplicações a lanço não são frequentemente utilizadas, salvo condições de elevada fertilidade do solo. Em geral o fósforo é aplicado no sulco de semeadura a fim de reduzir sua área de contato com o solo e, por consequência, reduzir a sua adsorção. Em função desse aspecto também, via de regra, o fósforo é aplicado no momento da semeadura de cada cultura, sendo ainda pouco utilizado (pesquisado) num processo de adubação de sistema.

2.4.3 Potássio

O potássio está presente nas plantas na forma do cátion K^+, tendo grande papel no processo de regulação osmótica das células vegetais. É ativador de enzimas envolvidas no processo de respiração e fotossíntese (BLOOM, 2009). Atua também na tolerância das plantas a ataques de pragas e doenças, devido ao aumento de resistência e diminuição na permeabilidade das membranas plasmáticas (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007).

Após o nitrogênio, o potássio é o nutriente demandado em maior quantidade pela cultura da soja (AMADO; SCHLEINDWEIN; FIORIN, 2010; VITTI; TREVISAN, 2000). Sua deficiência pode levar a queda do rendimento, diminuindo significativamente os componentes de rendimento da cultura (PARVEJ et al., 2015). Por conta disso é importante manter teores de potássio no solo superiores a 0,30 $cmol_c\ dm^{-3}$ em qualquer tipo de solo, considerando a camada amostral de 0-20 cm (SBCS/NEPAR, 2017).

O K que a cultura da soja demanda é absorvido da solução do solo na forma de íon K^+, sendo que suas principais fontes são cloretos e sulfatos (SOARES; SEDYIAMA, 2016). Aproximadamente 75% do K é absorvido pelas plantas antes do enchimento de grãos, porém tanto macronutrientes como micronutrientes devem estar disponíveis durante todo o ciclo da cultura (BENDER et al., 2015).

A adubação potássica pode ser realizada tanto no sulco de semeadura quanto a lanço, sendo a aplicação a lanço antes da semeadura recomendada preferencialmente em solos de textura argilosa (TECNOLOGIAS, 2011). Por ser um cátion monovalente e apresentar alta mobilidade no perfil do solo pode-se inferir que aplicações antecipadas, especialmente em solos arenosos e de baixa CTC, favorecem perdas por lixiviação em ambientes de alta precipitação, vindo a apresentar deficiência quando da implantação da cultura de verão. Por conta disso, é fundamental a observância de práticas adequadas de manejo, através da rotação de culturas, com vistas a aumentar os teores de matéria orgânica do solo, principal responsável pela geração de cargas elétricas negativas, e elevada produção de biomassa que também serve de fonte de potássio para os cultivos posteriores.

2.4.4 Cálcio, Magnésio e Enxofre

O cálcio é um cátion alcalino divalente, caracterizado como macronutriente secundário, com importante papel no desenvolvimento das culturas. Possui função na divisão e alongamento celular, bem como na integridade das membranas (FAGERIA, 2009).

O magnésio é caracterizado como nutriente envolvido na ativação enzimática, como constituinte da molécula de clorofila, atuando diretamente na fotossíntese. Além disso, auxilia na absorção de fósforo e aumenta a FBN (CÂMARA, 2015).

O enxofre é constituinte de aminoácidos, desempenha papel importante na estrutura das proteínas, tendo assim funções estruturais e metabólicas na planta (VITTI; LIMA; CICARONE, 2006).

Tanto para cálcio quanto para magnésio, a principal fonte são os calcários. Para o nutriente cálcio, o gesso também é uma excelente fonte (VITTI; LIMA; CICARONE, 2006).

As principais fontes de enxofre utilizadas na agricultura são o gesso agrícola e os fertilizantes, como superfosfato simples e sulfato de amônio (CÂMARA, 2015). Além destas, a matéria orgânica do solo caracteriza-se como excelente fonte do nutriente, onde 95% do enxofre presente nos solos encontra-se ligado a esta fração (VITTI; OTTO; SAVIETO, 2015).

2.5 MINERALIZAÇÃO DE NUTRIENTES E DISPONIBILIDADE

A mineralização da maioria dos nutrientes é dada em função do tempo para a decomposição dos resíduos culturais (TEIXEIRA et al., 2010), onde a composição bioquímica do resíduo orgânico exerce influência neste processo (STEWART et al., 2009), principalmente através da relação C/N do material (TURMEL et al., 2015), além das condições ambientais (temperatura, umidade, aeração, pH).

De acordo com Silva et al. (2011), a textura e a mineralogia do solo, além dos atributos físicos, podem ser influentes no processo de mineralização dos nutrientes, devido a exercerem atividade na microbiologia do solo. É preciso conhecer

os fatores que envolvem a decomposição, as transformações de C, bem como a transferência de nutrientes para o solo de diferentes tipos de resíduo vegetal (MALUF et al., 2015).

O K, por não estar ligado a cadeias carbônicas da planta, pode ser lixiviado rapidamente da palha, independente do grau de mineralização da matéria seca (CALONEGO et al., 2005; ROSOLEM et al., 2007). Após a colheita dos cereais cerca de 89% do K absorvido pode permanecer na palhada restante, sendo esta importante fonte do nutriente para a cultura subsequente (FAGERIA, 2009).

Em trabalhos realizados por Giacomini et al. (2003), a taxa média de liberação de K é 4,5 vezes maior que a observada para P nos resíduos culturais de ervilhaca comum, nabo-forrageiro e aveia-preta. A menor taxa de liberação de P está relacionada ao nutriente estar presente no tecido vegetal, encontrando-se no vacúolo da célula, na forma mineral, que apesar de ser bastante solúvel em água é dependente da população microbiana do solo para a sua mineralização.

Para nutrientes presentes em componentes estruturais da planta, como N, P, e S, a mineralização dos mesmos se dá em função das relações que cada um apresenta com o C, que ocorre de maneira inversamente proporcional as relações C/N, C/P e C/S (MALUF et al., 2015).

Para o processo de mineralização através do desenvolvimento de microrganismos decompositores, segue-se uma base estequiométrica entre carbono e os demais nutrientes, influenciando no processo de mineralização e imobilização (CLEVELAND; LIPTZIN, 2007; MANZONI et al., 2010).

Para a relação C/P, valor maior ou igual a 300 tende à imobilização e menor que 200 favorece a mineralização; para C/S maior que 400 pode favorecer a imobilização, enquanto menor que 200 implica em mineralização (MALUF et al. 2015). A relação C/N, um dos principais fatores na mineralização, decomposição e disponibilidade de N, tem valor próximo a 25 para o equilíbrio entre os processos de imobilização e mineralização (HEINZMANN, 1985).

Na cultura da aveia preta, Crusciol et al. (2008) relatam que os nutrientes N, P, Ca, Mg e S são liberados de forma gradual, restando 40,8%, 59,2%, 52,4%, 38,1% e 54% da quantidade total de nutrientes inicialmente acumulada, respectivamente, após 53 dias de dessecação. Já o K é disponibilizado em maior

quantidade, com máxima velocidade de liberação entre os 10 a 20 dias após o manejo da fitomassa, e aos 53 dias após manejo restam apenas 2% dos teores iniciais acumulados.

Para K, a rápida liberação é observada em diversos estudos envolvendo plantas de cobertura, onde aos 30 dias após deposição do material no campo 90% do potássio remanescente foi liberado dos resíduos de nabo forrageiro, ervilha forrageira, ervilhaca comum e tremoço (VIOLA et al., 2013). A rápida liberação de K ocorre não somente em restos culturais de plantas de cobertura, mas também em resíduos animais, onde para cama de aviário aos 30 dias de deposição do material no campo, 91% do K foi liberado ao solo (PITTA et al., 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS

O experimento foi conduzido em dois locais, nos municípios de Bom Sucesso do Sul, altitude de 575 metros, latitude de 26° 4' 36'' Sul e longitude de 52°50' 1'' Oeste, e de Itapejara d' Oeste, altitude de 632 metros, latitude de 25° 58' 58'' sul e longitude de 52°49' 21'' Oeste, ambos situados na região sudoeste do Paraná.

Nos dois locais o solo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2006). O clima é Cfa, com temperaturas médias de 18ºC nos meses mais frios e acima de 22ºC para os meses mais quentes. Os índices pluviométricos são em torno de 1400 a 1800 mm ao longo do ano, com chuvas bem distribuídas.

As características químicas e físicas do solo de ambos os locais do experimento encontram-se nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 – Características químicas dos solos nos municípios de Bom Sucesso do Sul-PR e Itapejara d'Oeste-PR, antes do início do experimento. UTFPR, Pato Branco - PR, 2019.

Profundidade (cm)	M.O g dm^{-3}	P mg dm^{-3}	K $cmol_c$ dm^{-3}	Ca $cmol_c$ dm^{-3}	Mg $cmol_c$ dm^{-3}	Al $cmol_c$ dm^{-3}	H+Al $cmol_c$ dm^{-3}	V (%)	pH $CaCl_2$	CTC $cmol_c$ dm^{-3}
Bom Sucesso do Sul - PR										
0 a 20	45,6	8,9	0,23	5,1	1,5	0,09	6,21	52,4	4,7	13,04
20 a 40	29,5	5,9	0,18	4,1	1,4	0,23	7,20	44,1	4,4	12,88
Itapejara d' Oeste – PR										
0 a 20	52,3	8,4	0,14	9,2	3,6	0,00	5,61	69,4	5,0	18,55
20 a 40	50,9	7,2	0,10	7,8	3,0	0,00	6,54	62,7	4,9	17,44

M.O. Matéria orgânica; P-Fósforo; K- Potássio; Ca-Cálcio; Mg-Magnésio; Al-Alumínio; H+Al- Hidrogênio+Alumínio; V(%)- Saturação por Bases; $pHCaCl_2$- pH em cloreto de cálcio; CTC- Capacidade de Troca de Cátions.

Tabela 2 – Características granulométricas de 0-20 cm dos solos nos municípios de Bom Sucesso do Sul-PR e Itapejara d'Oeste-PR. UTFPR, Pato Branco - PR, 2019.

Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
Bom Sucesso do Sul - PR		
60	25	15
Itapejara d' Oeste - PR		
55	26	19

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

Nos dois locais o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao

acaso com três repetições, num arranjo bifatorial 3x4, composto por três manejos de adubação (1- toda a adubação realizada no plantio da aveia preta; 2- parcelamento da adubação com 50% na aveia preta e 50% na semeadura da soja; 3- aveia preta sem adubação e toda a adubação realizada na semeadura da soja), combinados com quatro níveis de adubação (0, 100, 200 e 300%), tomando como referência a recomendação para a soja no Paraná (SBCS/NEPAR, 2017).

A adubação recomendada (100%) foi definida levando-se em conta uma expectativa de produção de 4,1 a 5 t ha^{-1} de soja, seguindo as recomendações do Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017). O requerimento de nutrientes pela cultura da soja (Tabela 3), foi fornecido através da fórmula NPK 07-34-12 Microessentials®, com N e P somente em um grânulo, e 7,4% de S e 2,3% de Ca em sua composição. O faltante de K_2O requerido foi fornecido via cloreto de potássio com 60% de K_2O, aplicado em cobertura após a semeadura.

Tabela 3 – Teores disponíveis no solo de P e K, classes de interpretação, e requerimento de nutrientes para a cultura da soja com expectativa de produção de 4,1 a 5 t ha^{-1}, segundo o Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017). UTFPR, Pato Branco - PR, 2019.

Nutriente	Teores disponíveis (0 a 20 cm)	Classe de interpretação (Teor)	Quantidade requerida para produção de 4,1 a 5 t ha^{-1}	Quantidade NPK + KCl ha^{-1}
		Bom Sucesso do Sul - PR		
P mg dm^{-3}	8,90	Médio	100 kg ha^{-1} de P_2O_5	294 kg ha^{-1} + 74,5 kg ha^{-1}
K $cmol_c dm^{-3}$	0,23	Alto	80 kg ha^{-1} de K_2O	
		Itapejara d'Oeste – PR		
P mg dm^{-3}	8,41	Médio	100 kg ha^{-1} de P_2O_5	294 kg ha^{-1} + 107,8 kg ha^{-1}
K $cmol_c dm^{-3}$	0,14	Médio	100 kg ha^{-1} de K_2O	

As parcelas mediram 3,2 por 10 metros de comprimento. Na cultura da aveia preta foram constituídas de 17 linhas espaçadas a 0,175 m entre si, enquanto para a soja foram semeadas 7 linhas espaçadas a 0,45 m entre si.

No cultivo de aveia preta, apenas os manejos 1 e 2 (Tabela 4) foram avaliados, devido ao primeiro ano de avaliação. No cultivo de soja segue-se as avaliações considerando os três manejos descritos.

As culturas antecedentes ao início do experimento (semeadura da aveia preta) eram milho e feijão para Bom Sucesso do Sul-PR e Itapejara d' Oeste-PR, respectivamente.

A semeadura da aveia preta (Cultivar BRS 139, 300 sementes viáveis por m^2) foi realizada no dia 20 de junho de 2017 no ambiente de Bom Sucesso do Sul-PR, com dessecação (960 g/ia ha^{-1} de glifosato, estádio fenológico grão leitoso) no dia 24 de setembro de 2017. Em Itapejara d' Oeste-PR, ocorreu em 14 de junho de 2017, com dessecação no dia 26 de setembro de 2017. A semeadura da soja foi realizada nos dias 12 e 18 de outubro de 2017 para os ambientes de Bom Sucesso do Sul-PR e Itapejara d' Oeste-PR, respectivamente, com a cultivar Don Mario 53i54 RSF IPRO, e população de 300 mil sementes por hectare.

3.3 CARACTERES AVALIADOS

Devido a condução em duas localidades, optou-se por realizar as avaliações da aveia preta apenas nos ambientes em que houve a antecipação para esta cultura da adubação da soja, total ou parcialmente. Para a soja, todos os ambientes foram avaliados (Tabela 4).

Tabela 4 – Descrição dos ambientes utilizados em análises. UTFPR, Pato Branco - PR, 2019.

Cultivo de Aveia Preta		
Ambientes	Local	Forma de adubação - Manejos
1	Bom Sucesso do Sul - PR	Toda adubação da soja antecipada para a aveia
2	Bom Sucesso do Sul - PR	Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja
3	Itapejara d' Oeste - PR	Toda adubação da soja antecipada para a aveia
4	Itapejara d' Oeste - PR	Parcelamento da adubação na cultura da aveia e soja – 50% na aveia e 50% na soja
Cultivo de Soja		
Ambientes	Local	Forma de Adubação - Manejos
1	Bom Sucesso do Sul - PR	Toda adubação da soja antecipada para a aveia
2	Bom Sucesso do Sul - PR	Parcelamento da adubação na cultura da aveia e soja – 50% na aveia e 50% na soja
3	Bom Sucesso do Sul - PR	Adubação tradicional no cultivo da Soja
4	Itapejara d' Oeste - PR	Toda adubação da soja antecipada para a aveia
5	Itapejara d' Oeste - PR	Parcelamento da adubação na cultura da aveia e soja – 50% na aveia e 50% na soja
6	Itapejara d' Oeste - PR	Adubação tradicional no cultivo da Soja

3.3.1 Aveia Preta

3.3.1.1 Caracteres agronômicos avaliados:

a) Produção de massa seca (MS): Obtida através da coleta da massa verde (MV) da aveia em pleno florescimento em uma área de 0,25 m^2 (0,5 m x 0,5 m). Para secagem separou-se uma amostra de MV (500 g) de cada parcela, através do teor de matéria seca da amostra, foi determinado a quantidade coletada na área de 0,25m^2 e estimado a produção por hectare. As amostras foram submetidas a temperatura de secagem de 65ºC até atingirem massa constante.

b) Concentração de N, P e K na palhada: Após obtenção da MS, as amostras foram moídas e determinados os teores de N, P e K no tecido vegetal, seguindo metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

3.3.1.2 Taxa de liberação de nutrientes da palhada de aveia – Litter bags

Foi determinado a liberação de nutrientes da palhada de aveia através do uso de sacos de decomposição, litter bags.

Para avaliação da velocidade de decomposição e da liberação de N, P e K, os resíduos de aveia preta foram coletados aleatoriamente na parcela horas antes da dessecação da cultura através da aplicação de glifosato, e encaminhados a estufa a 65ºC, por 72 horas. Após a secagem do material, foram retirados 10 g de massa seca de cada tratamento para serem alocadas em sacos de nylon com malha de 2mm, de tamanho 20x20 cm. Os sacos foram lacrados e distribuídos na área experimental no dia da semeadura da soja, e coletados em intervalos de 10, 20, 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura.

Para cada tempo de coleta foi avaliada a velocidade de decomposição da palhada pela diferença de peso, tendo como base a quantidade inicial de material vegetal (10 g) e a quantidade remanescente em cada coleta. Após cada coleta, o material proveniente dos litter bags foi secado a 65ºC até massa constante e moído com auxílio de um moinho de facas tipo Willey (< 40 mesh), sendo posteriormente determinada a concentração de nutrientes, através da metodologia descrita em

Tedesco et al. (1995).

Com os resultados de MS remanescente em cada tratamento e da concentração de nutrientes na palhada, estimou-se a liberação acumulativa de nutrientes em cada coleta, obtida através da multiplicação da percentagem de liberação de nutriente em cada coleta, pelas quantidades de nutrientes em kg ha^{-1} adicionadas inicialmente nos litter bags.

As taxas de decomposição da matéria seca (MS) e liberação dos nutrientes dos resíduos de aveia preta foram estimados ajustando-se modelos de regressão não lineares aos valores observados, conforme proposto por Wieder; Lang (1982). Os dois modelos ajustados têm a seguinte equação matemática:

$$MSR = A\, e^{-kat} + (100-A) \qquad \text{(Equação 01)}$$

$$MSR = A\, e^{-kat} + (100-A)\, e^{-kbt} \qquad \text{(Equação 02)}$$

Onde:

MSR: porcentagem de matéria seca remanescente; Ka: constante de decomposição do compartimento mais facilmente decomponível (A); Kb: constante de decomposição do compartimento mais recalcitrante (100-A); t: tempo, em dias.

Ambos os modelos consideram que a matéria seca dos resíduos pode ser dividida em dois compartimentos. No modelo assintótico (Equação 01), apenas o compartimento mais facilmente decomponível, relativo à matéria seca, é transformado, diminuindo exponencialmente com o tempo a uma taxa constante. No modelo exponencial duplo (Equação 02), a matéria seca e os nutrientes dos dois compartimentos diminuem exponencialmente a taxas constantes, com a primeira fração transformada a taxas mais elevadas (Ka) que a segunda (Kb), que é de mais difícil decomposição (recalcitrante).

A escolha do tipo de modelo de cada tratamento foi feita com base nos maiores valores do coeficiente de determinação (R^2), o qual indica o grau de associação entre o modelo ajustado e os valores observados.

A partir dos valores da constante de decomposição da matéria seca e liberação de nutrientes de cada compartimento, foi calculado o tempo da meia vida (t1/2), ou seja, o tempo necessário para que 50% da matéria seca daquele

compartimento seja decomposta ou 50% dos nutrientes fossem liberados. Para este cálculo utilizou-se a fórmula a seguir, cuja dedução é apresentada em Paul; Clark (1996): t1/2 = 0,693/k(a,b).

Onde: t=tempo, k= constante de decomposição, a= constante de decomposição do compartimento mais facilmente decomponível, b= constante de decomposição do compartimento recalcitrante.

3.3.2 Soja

3.3.2.1 Caracteres agronômicos avaliados:

a) Rendimento de grãos, em kg ha^{-1} (RG): obtido após a colheita da área útil de cada parcela ($10m^2$ - 5 linhas de 4,44 m). O dados obtidos foram corrigidos para umidade de 13% e o rendimento estimado para kg ha^{-1}.

b) Massa de mil grãos (MMG): Obtido através da determinação da massa de 200 sementes, em quadruplicata, de cada parcela e posteriormente, estimando para 1000 sementes. Os resultados foram expressos em gramas, com correção de umidade para 13% (BRASIL, 2009).

c) Estatura de plantas (EST): Obtida através da distância do solo até o ápice da planta no estádio fenológico R8.

d) Número de nós produtivos (NNP): Obtido através da contagem de nós com presença de legumes na haste principal, realizado em 10 plantas coletadas em sequência em linha na área útil da parcela.

e) Número de legumes por planta (NLP): Obtido através da contagem do número total de vagens em 10 plantas no estádio R8.

f) Número de grãos por legume (NGL): Obtido através da contagem do número de grãos em cada legume de 10 plantas da parcela.

g) Avaliação econômica (AE): Em caso de efeito significativo da dose de fertilizante, será calculado a dose de máxima eficiência econômica, considerando o preço médio do adubo e da soja no período entre 2009-2018 (CONAB, 2019). Na ausência de significância, a avaliação econômica se dará através do aumento no

rendimento de grãos de soja e custo do fertilizante.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Com o auxílio do programa Genes (CRUZ, 2013) os dados foram submetidos a análise de variância. Quando identificadas interações entre os fatores, qualitativo e quantitativo, foi realizada análise de regressão para o fator quantitativo dentro de cada fator qualitativo. Em casos sem interação, o fator qualitativo foi submetido a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

As taxas de decomposição da MS dos resíduos vegetais e a liberação de nutrientes foram estimadas ajustando-se modelos de regressão não linear aos valores observados, conforme proposto por Wieder; Lang (1982). A partir dos valores da constante de decomposição da MS e liberação de nutrientes de cada compartimento, calculou-se o tempo da meia vida (t1/2), ou seja, o tempo necessário para que 50% da MS daquele compartimento fosse decomposta ou 50% dos nutrientes fossem liberados. Para este cálculo utilizou-se a fórmula deduzida por Paul e Clark (1996): $t1/2 = 0,693/k(a,b)$. As análises foram realizadas por meio dos aplicativos Genes (CRUZ, 2013) e Statgraphics, sendo os gráficos gerados com o aplicativo SigmaPlot versão 11.0.

Com a obtenção das equações de regressão de rendimento de grãos da cultura da soja, foi obtida a dose de máxima eficiência técnica (MET), correspondendo ao maior rendimento absoluto obtido, e o de máxima eficiência econômica (MEE), igualando a derivada de cada equação de regressão ao preço do fertilizante e preço do produto (grãos de soja).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos nos locais de implantação do experimento são apresentados na Figura 1. Baixos volumes pluviométricos foram acumulados durante os meses de junho a setembro em ambos os locais (Figura 1A e 1B), interferindo no acúmulo de matéria seca e nutrientes pela cultura da aveia. Para os meses de desenvolvimento da cultura da soja (outubro a março), ocorreram grandes acumulados de chuva, influenciando a liberação de nutrientes e decomposição da palhada.

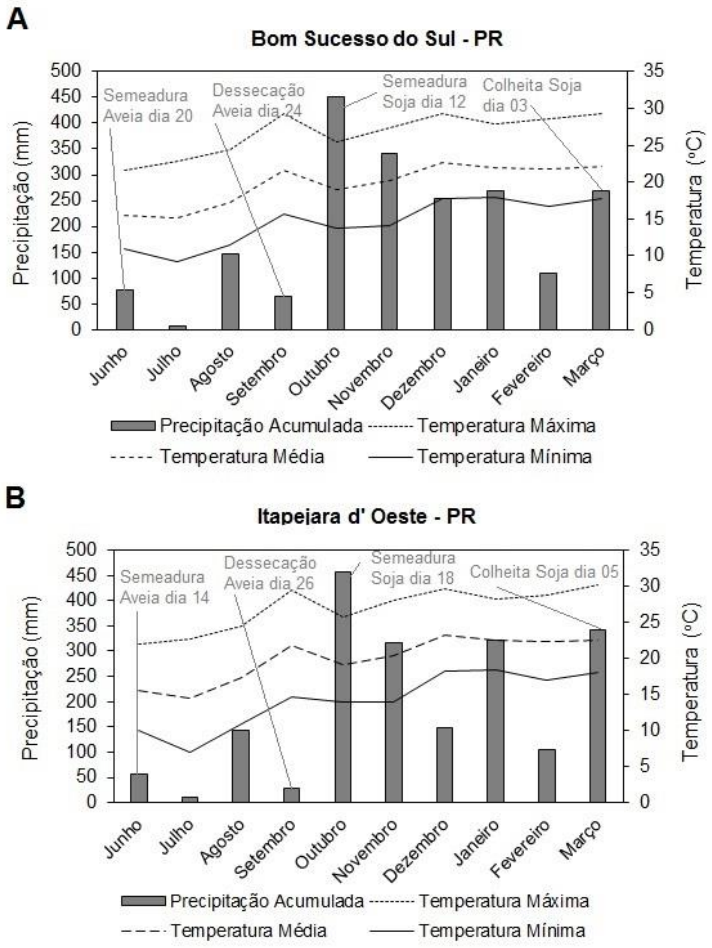

Figura 1 – Dados meteorológicos observados durante o período experimental no ano de 2017/2018 para os ambientes de Bom Sucesso do Sul (A) e Itapejara d´ Oeste (B). Fonte: Simepar.

4.2 AVEIA

A análise de variância conjunta revelou significância para os efeitos principais nível de adubação (NA) e ambientes (A) para o caractere N, bem como interação (NA x A) para os caracteres MS, P e K (Tabela 5), indicando diferenças de desempenho em função do nível de adubação e local de cultivo.

Tabela 5 – Quadrados médios da análise da variância conjunta, incluindo as fontes de variação, graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis massa seca (MS), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). UTFPR, Pato Branco - PR, 2019.

Fontes da Variação	GL	MS	N	P	K
Blocos	2	20575.0	955.2	6.3	2865.4
(NA) Nível de Adubação	3	16823052.7**	3481.0**	59.0**	41414.9**
Ambientes (A)	3	1889808.3**	4291.0**	36.7**	62956.1**
NA x A	9	828660.1**	232.4ns	8.6*	5031.8*
Resíduo	30	79268.3	287.7	3.7	1924.7
Média		7063.7	108.0	12.2	270.1
CV (%)		3.98	15.7	15.7	16.2

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0.05$) pelo teste F. ns não significativo.

4.2.1 Produção de Massa Seca

Para massa seca, houve interação entre níveis de adubação e ambientes. Para os ambientes de Bom Sucesso do Sul-PR, são observadas produtividades semelhantes entre os ambientes 1 (antecipação de adubação na cultura da aveia) e 2 (parcelamento na cultura da aveia e na soja), devido aos elevados níveis de fertilidade, assegurando bons acúmulos de MS com a adubação parcelada (Figura 2). Nos ambientes 1 e 2 maiores acúmulos de matéria seca foram observados com o incremento dos níveis de adubação, com 8003 kg ha^{-1} de MS no ambiente 1, para o nível de adubação (340%). No ambiente 2 o maior valor observado foi 7515 kg ha^{-1} de MS para o nível de 269%. Maiores níveis de adubação, especialmente considerando a contribuição do adubo com nitrogênio, contribuem para o desenvolvimento inicial da aveia mais vigoroso, permitindo a rápida cobertura de solo e elevada produtividade de massa seca (SILVA et al., 2009; DE MELLO PRADO et al., 2006).

As maiores respostas em produção de MS da aveia foram observadas

nos ambientes 3 com o nível de adubação 385% (9585 kg ha^{-1}) e 4 (8213 kg ha^{-1}), quando submetidos ao nível 300% (Figura 2). Comparativamente aos ambientes 1 e 2, foi observado maiores respostas no incremento de MS em função do nível de adubação. O cultivo da aveia pós feijão nos ambientes 3 e 4, fornece uma palhada de baixa relação C/N, com melhor desenvolvimento da cultura neste local, se comparada aos ambientes 1 e 2. A presença de uma leguminosa na rotação fornece N para a cultura seguinte, o que pode ter contribuído para os acréscimos de produtividade da aveia, uma cultura responsiva a aplicação deste nutriente.

Alta produção de palhada sobre o solo contribui para o melhor armazenamento de água, menor incidência de plantas daninhas, podendo melhorar a fertilidade do solo (FLOWER et al., 2012). Isso contribui para a ciclagem de carbono da biomassa microbiana no solo, evitando perdas de C para a atmosfera (CARNEIRO et al., 2008).

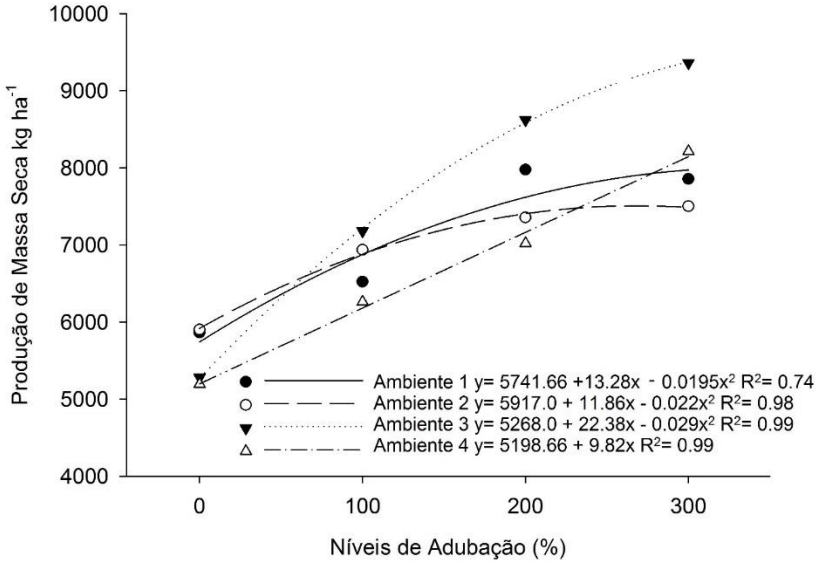

Figura 2 – Produção de massa seca da parte aérea de aveia em quatro ambientes (Ambientes: 1- Bom Sucesso do Sul - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 2- Bom Sucesso do Sul - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja; 3- Itapejara d' Oeste - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 4- Itapejara d' Oeste - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja) em função de diferentes níveis de adubação. Pato Branco-PR, 2019.

4.2.2 Acúmulo de Nitrogênio

Para nitrogênio, não houve interação entre os fatores, apenas efeitos principais de níveis de adubação e ambientes. Para NA, independente do manejo utilizado, o nível de 203% acumulou maiores quantidades de N acumulado totalizando 121 kg ha^{-1}, decrescendo o acúmulo com o aumento da quantidade de fertilizante aplicado (Figura 3A). Diminuição no acúmulo de nitrogênio em níveis maiores de adubação pode ser explicado pelo desenvolvimento acelerado da cultura e maior acamamento, levando ao sombreamento do terço inferior e dificultando o processo fotossintético causando a senescência das folhas precocemente (Figura 4A e 4B).

Para comparação entre ambientes, sendo caracteres qualitativos (Figura 3B), o ambiente 2 promoveu maiores acúmulos, porém não diferiu do ambiente 1, ambos localizados em Bom Sucesso do Sul-PR. O ambiente 4 foi o que apresentou menores acúmulos de N, não diferindo do ambiente 3, ambos em Itapejara d'Oeste. Menores acúmulos de N nos ambientes 3 e 4 podem ser explicados pelo menor regime de chuvas no mês de setembro (Figura 1), momento que a aveia estava no período de florescimento, onde ocorre alta absorção de N pela cultura.

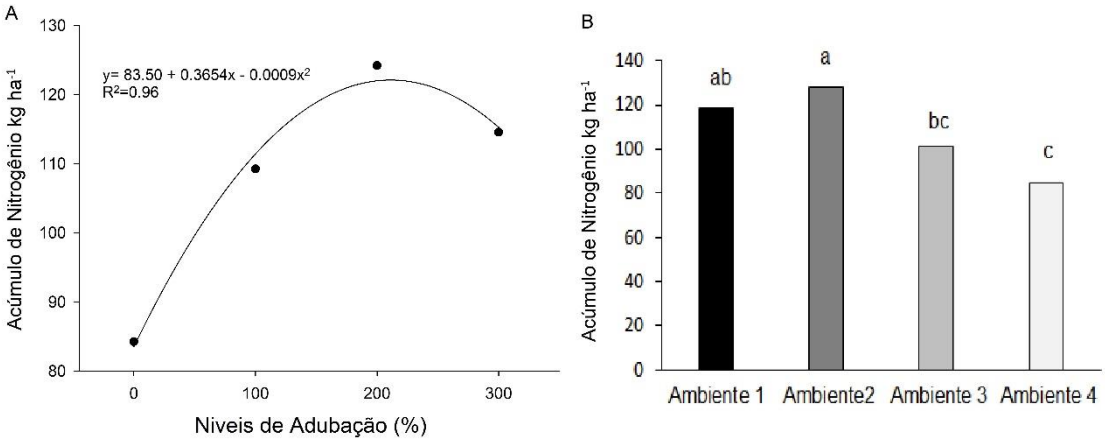

Figura 3 – Acúmulo de nitrogênio pela parte aérea de aveia em resposta a diferentes níveis de adubação (A) e em diferentes ambientes (Ambientes: 1- Bom Sucesso do Sul - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 2- Bom Sucesso do Sul - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja; 3- Itapejara d' Oeste - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 4- Itapejara d' Oeste - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja) (B). Médias seguidas com letras minúsculas entre ambientes, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. Pato Branco-PR, 2019.

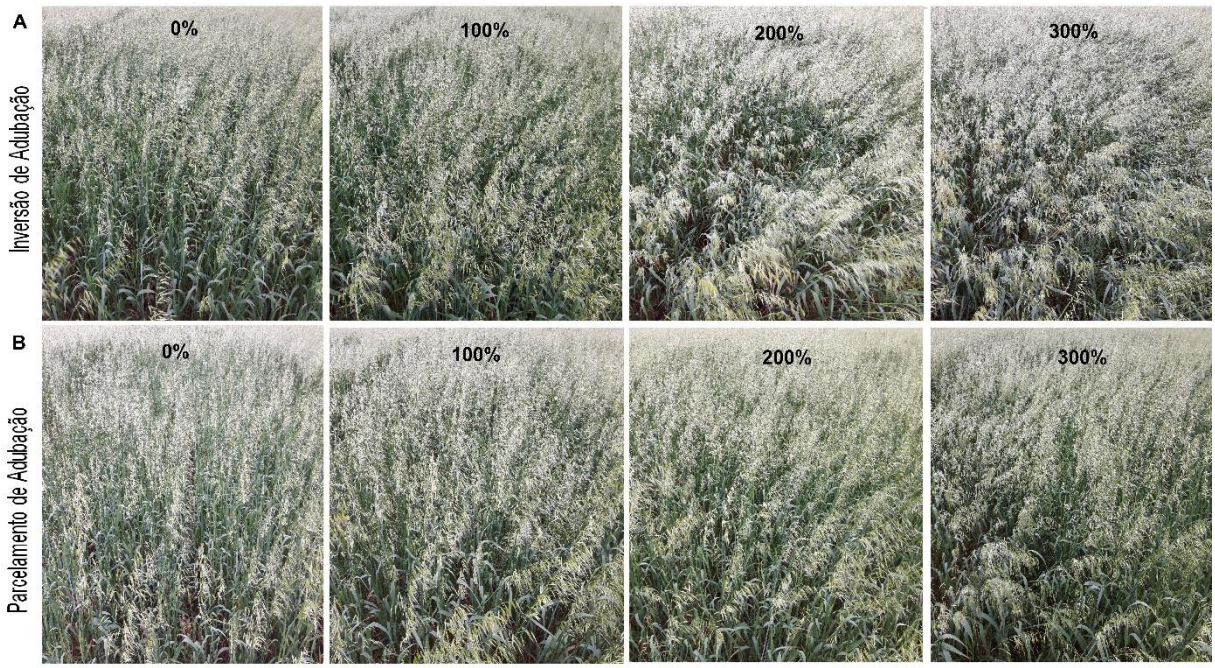

Figura 4 – Aspecto visual da parte aérea de aveia em resposta a diferentes níveis de adubação, com antecipação de adubação (A) e parcelamento de adubação (B). Pato Branco-PR, 2019.

A aveia preta sendo uma gramínea, sendo menos eficiente em acumular de N em comparação com as plantas leguminosas, acumulou quantidades elevadas de N (121 kg ha^{-1}), sendo superiores a estudos realizados por Giacomini et al. (2003) (50 kg ha^{-1} de N) para a mesma cultura. O maior acúmulo de N é devido a alta produção de MS pela cultura no ano de estudo, sendo o dobro da MS observada por Giacomini et al. (2003). Já para acúmulos de massa seca semelhantes (7,36 toneladas) Ceretta et al. (2002) observaram acúmulos de N em torno de 80 kg ha^{-1}, mais próximos do observado no ano de estudo.

4.2.3 Acúmulo de Fósforo

Para o acúmulo de fósforo houve interação entre níveis de adubação e ambientes, onde todos os ambientes apresentaram respostas lineares ao incremento de adubação (Figura 5), corroborando com Nakagawa; Crusciol; Zucareli (2009). Este nutriente possui grande importância nos processos metabólicos da planta, sendo o principal constituinte de moléculas como ATP, responsável pelo fornecimento de energia em diversas atividades fisiológicas.

Maiores acumulados foram obtidos no ambiente 3, quando feita toda a antecipação da adubação na cultura antecedente, seguidos dos ambientes 2, 1 e 4. Maiores acumulados no ambiente 3 se explicam devido à alta produção de MS, elevando as quantidades acumuladas. Comparativamente ao N e K, o P é acumulado em pequenas quantidades, sofre dinâmica complexa no solo, com reações de imobilização por coloides de argila e óxidos de Fe e Al, além da imobilização por microrganismos, tornando-se indisponível para a cultura.

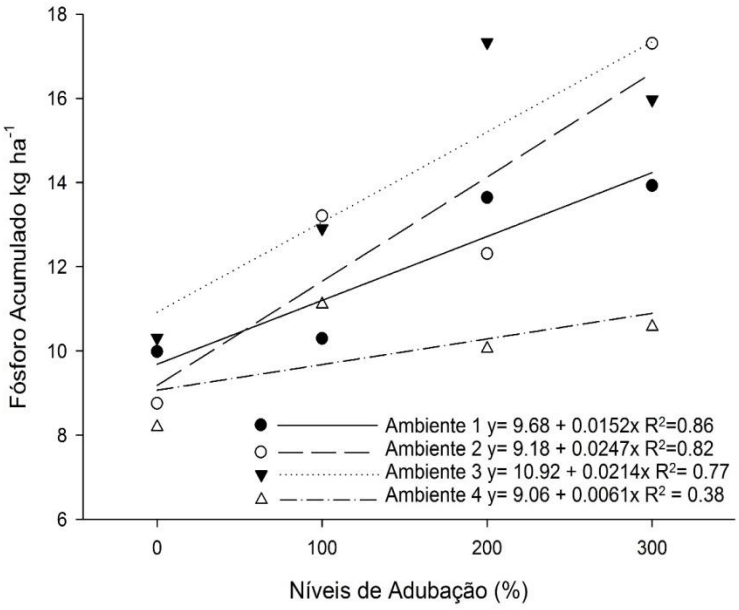

Figura 5 – Acúmulo de fósforo pela parte aérea de aveia em quatro ambientes (Ambientes: 1- Bom Sucesso do Sul - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 2- Bom Sucesso do Sul - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja; 3- Itapejara d' Oeste - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 4- Itapejara d' Oeste - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja) em função de diferentes níveis de adubação. Pato Branco-PR, 2019.

4.2.4 Acúmulo de Potássio

Para o acúmulo de K também houve interação entre níveis de adubação e ambientes, sendo que em todos os ambientes foi observado comportamento linear em função do aumento da adubação (Figura 6). Da mesma forma que o P, para o ambiente 3, com maior quantidade de MS, foi o ambiente que mais acumulou K (500 kg ha^{-1}) no nível de 300%, podendo ainda ser superior a isso em função do

comportamento linear. Os ambientes 2, 4 e 1 apresentaram quantidades acumuladas semelhantes, que também ocorreu para a variável MS. Logo, quanto maior for o aporte de MS no sistema, maior é o acúmulo e ciclagem de K. A extração total de potássio pela cultura da soja para cada tonelada de grãos é de aproximadamente 30,1 kg de K_2O (SBCS/NEPAR, 2017). Mesmo em ausência de adubação, 198 kg de potássio foram acumulados na massa seca de aveia, em média dentre os ambientes (Figura 6), que corresponde a 237,6 kg de K_2O, suficiente para atingir produtividades maiores que 6 toneladas por hectare.

O potássio é o cátion mais abundante na planta e segundo Malavolta (1980), mais de 80% do K encontra-se livre na planta, sendo passível de lixiviação. Aumento na quantidade de biomassa produzida ao longo do tempo, melhora o ambiente de cultivo. Já, menores quantidades de biomassa sem cultivo de plantas no período de inverno, resultam em menor disponibilidade de P e K no solo (CALEGARI et al., 2013).

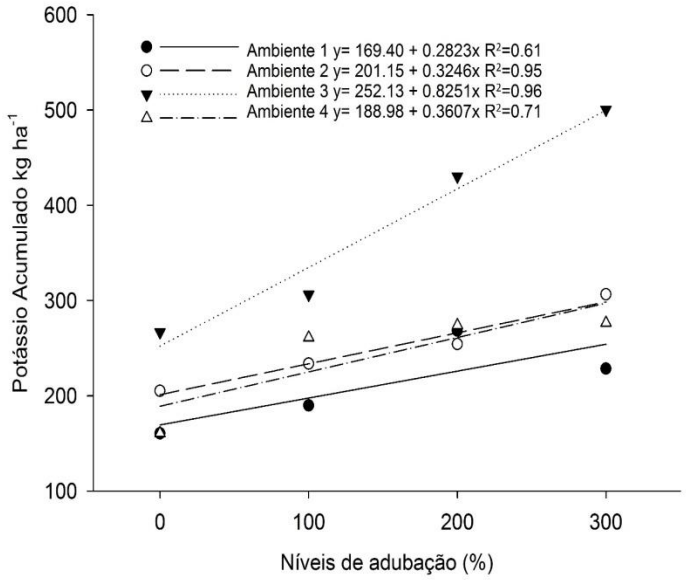

Figura 6 – Acúmulo de potássio pela parte aérea de aveia em quatro ambientes (Ambientes: 1- Bom Sucesso do Sul - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 2- Bom Sucesso do Sul - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja; 3- Itapejara d' Oeste - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 4- Itapejara d' Oeste - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja) em função de diferentes níveis de adubação. Pato Branco-PR, 2019.

4.3 DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE AVEIA E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES

A velocidade de decomposição de resíduos vegetais está intimamente ligada a sua composição, que condiciona a liberação de nutrientes ao sistema e/ou a proteção do solo. Estimar o quanto de nutrientes está sendo liberado para a cultura em sucessão é um bom parâmetro para compreender a imobilização e disponibilidade dos mesmos.

Para melhor compreender as taxas de decomposição da matéria seca, faz-se analisar as constantes de decomposição (Tabela 6) conforme proposto por Wieder; Lang (1982). De acordo com os dados, o modelo ajustado foi o exponencial simples (um compartimento) para MS% e K%. Neste modelo, apenas o compartimento mais facilmente decomponível presente na matéria seca é transformado, diminuindo exponencialmente com o tempo (WIEDER; LANG, 1982; AITA; GIACOMINI, 2003). Para N% e P%, os modelos testados não se ajustaram, por isso serão apresentados apenas dados de massa seca e potássio remanescentes. Valores negativos para nitrogênio e fósforo remanescentes para o compartimento de mais fácil decomposição, podem ser explicados pela imobilização microbiana no processo de decomposição da palhada, dificultando a liberação do nutriente.

Tabela 6 – Parâmetros do modelo exponencial simples, ajustados aos valores medidos para matéria seca remanescente, nitrogênio remanescente, fósforo remanescente e potássio remanescente, constante de decomposição (Ka), tempo de meia vida (t1/2) do compartimento e valores de R^2. UTFPR, Pato Branco - PR, 2019.

Caractere	A	Ka	Tempo 1/2 vida	R^2 Ajust.
	%	Dia^{-1}	Dias	
MS %	73,5645	0,0184912	37	92,53
N %	-43,1652	0,0339594	20	13,49
P %	-48,3189	0,0628432	11	13,92
K %	92,8441	0,0991213	7	89,76

4.3.1 Decomposição da Matéria Seca

As constantes de decomposição para MS (Tabela 6) se ajustaram ao modelo exponencial simples (um compartimento). Neste modelo, apenas o compartimento mais facilmente decomponível, relativo à matéria seca, é transformado, diminuindo exponencialmente com o tempo a uma taxa constante.

(WIEDER; LANG, 1982; AITA; GIACOMINI, 2003). Para MS, a constante de decomposição K_a foi de 0,0184912, resultando em uma meia vida de 37 dias, com 73,56% da MS no compartimento mais facilmente decomponível e R^2 de 92,53%.

A taxa de decomposição da matéria seca (Figura 7), foi semelhante entre ambientes. A aveia preta caracteriza-se por ser uma gramínea de alta relação C/N (33,9) (HEINRICHS et al., 2001), que é variável de acordo com a quantidade de N ofertada, com relação C/N variando de 50 a 27 em doses de 40 kg ha^{-1} e 240 kg ha^{-1} (SANTI, AMADO; ACOSTA, 2003), respectivamente, explicando a lenta taxa de decomposição dos resíduos. Até os 20 dias após alocação dos litter bags no campo nota-se maior velocidade de decomposição da MS, com uma decomposição de 26,2%, 25,7%, 29,1% e 27,2% do total depositado nos ambientes 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Isso equivale, em média, a redução diária de 1,35% da palha depositada na superfície. De acordo com Wieder; Lang (1982), no início do processo de decomposição, a maior parte dos resíduos vegetais das plantas são compostos por açúcares e proteínas, facilmente decompostos. Para o final, a decomposição mais lenta é explicada por restar na matéria seca compartimentos como celulose e lignina, de difícil decomposição. Neste caso, no decorrer do tempo, a proporção relativa do material recalcitrante aumenta gradativamente, ficando a decomposição constante.

Na aumento de presença de material lignificado (30-120 dias), as taxas de decomposição decaem com menor velocidade, restando aos 120 dias 31,6%, 32,4%, 28,5% e 32,1% da matéria seca remanescente nos ambientes 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Essas quantidades de matéria seca são consideradas altas quando comparadas a espécies leguminosas, que possuem menor relação C/N e maior velocidade de decomposição, por isso as gramíneas apresentam maior potencial de proteção ao solo contra erosão (ZIECH et al., 2015).

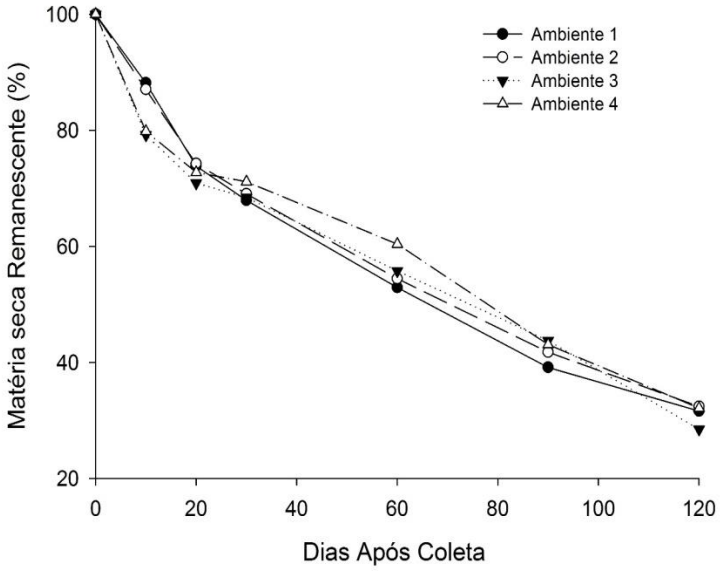

Figura 7 – Matéria seca remanescente de aveia durante o período de 120 dias após a deposição na superfície do solo em diferentes ambientes (Ambientes: 1- Bom Sucesso do Sul - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 2- Bom Sucesso do Sul - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja; 3- Itapejara d' Oeste - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 4- Itapejara d' Oeste - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja). Pato Branco-PR, 2019.

Ainda nos primeiros 10 dias de alocação de litter bags no campo (Figura 7) é observado maiores decomposições para os ambientes 3 e 4, correspondentes ao local de Itapejara d' Oeste-PR. Isto é explicado pelo volume de chuva recebido no mês de outubro (Figura 8) após a deposição dos litter bags no campo, sendo maior em Itapejara d' Oeste-PR que em Bom Sucesso do Sul-PR (ambientes 1 e 2). No ambiente de Bom Sucesso do Sul-PR, a semeadura da soja foi realizada no dia 12 de outubro, recebendo após 10 dias de alocação do material no campo um acumulado de 153 mm, sendo destes 130 mm no nono dia após deposição. Para os ambientes de Itapejara d' Oeste-PR (ambientes 3 e 4), com semeadura no dia 18 de outubro, 194 mm foram acumulados, recebendo 120 mm no quinto dia após deposição, permanecendo por assim, 5 dias em condição de alta umidade e intensa atividade microbiana, fato que explica maior decomposição nos ambientes 3 e 4 neste período. Maiores acumulados de chuva permitem melhores condições umidade no solo, acelerando a atividade microbiológica e decomposição da matéria seca. Sendo o tempo de meia vida da matéria seca influenciado pelo regime de chuvas (TORRES; PEREIRA; FABIAN, 2008).

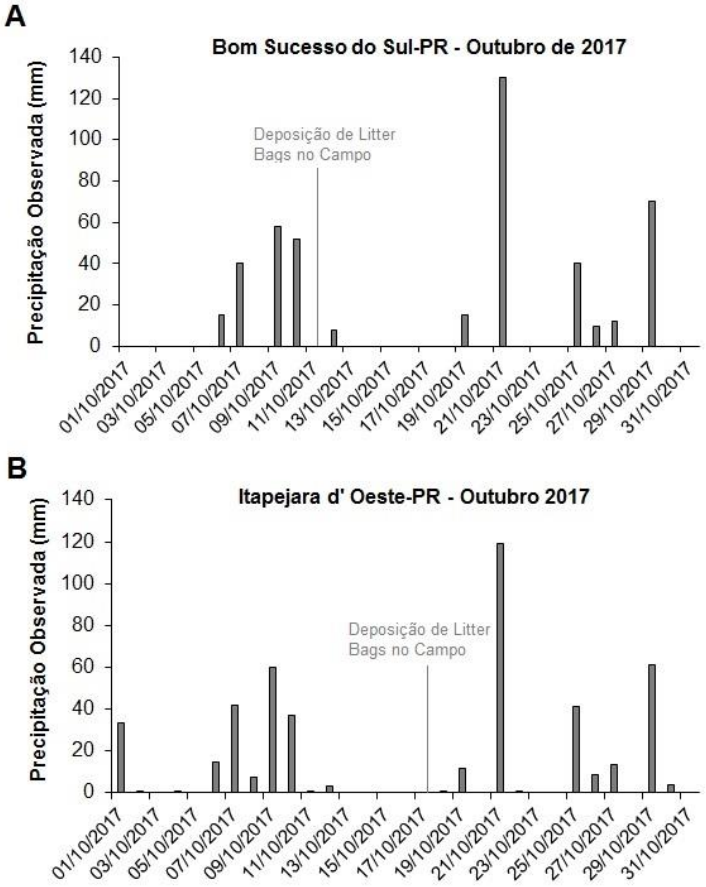

Figura 8 – Precipitação observada no mês de outubro de 2017 para os ambientes de Bom Sucesso do Sul-PR (A) e Itapejara d' oeste-PR (B). Pato Branco-PR, 2019.

4.3.2 Liberação de Potássio

Para o K ocorreu rápida liberação inicial (Figura 9A) com teores remanescentes decrescendo rapidamente com o tempo e apresentando 92,8% na fração mais prontamente decomponível e tempo de meia vida de 7 dias, com uma constante de decomposição K_a de 0,0991213 e R^2 de 89,76% (Tabela 6). Aos 120 dias, 266 kg ha^{-1} de potássio foram liberados, independentemente do nível de adubação e dos ambientes (Figura 9B). Crusciol et al. (2008), Soratto et al. (2012), Cavalli et al. (2018), Li et al. (2014), também observam a rápida liberação deste nutriente.

Aos 120 dias após deposição dos litter bags no campo apenas 5% do K remanescente encontrava-se na palhada, sendo que aos 30 dias 85,6% tinha sido liberado, restando apenas 14,4% do nutriente neste momento. A rápida liberação do

K pode ser atribuída em função ser um elemento que não está associado a nenhum componente estrutural do tecido vegetal, e por estabelecer ligações de fácil reversibilidade com complexos orgânicos (ROSOLEM et al., 2003). É um elemento que apresenta alta mobilidade na planta, tanto entre tecidos como entre células (MEURER; INDA, 2004). Por isso, sendo móvel entre membranas e tecidos, é compreensível que seja lixiviado dos tecidos mortos das plantas, com características de liberação diferentes da decomposição da palhada (LI et al., 2014).

O potássio está presente na palha principalmente em a forma de íons K^+ no líquido celular (MARSCHNER, 2012), e sua liberação no campo é dependente da chuva (RODRIGUEZ-LIZANA et al., 2010), sem grandes influências de processos microbianos (LUPWAYI et al., 2005), que são responsáveis por processos de mineralização, como ocorre para N e P.

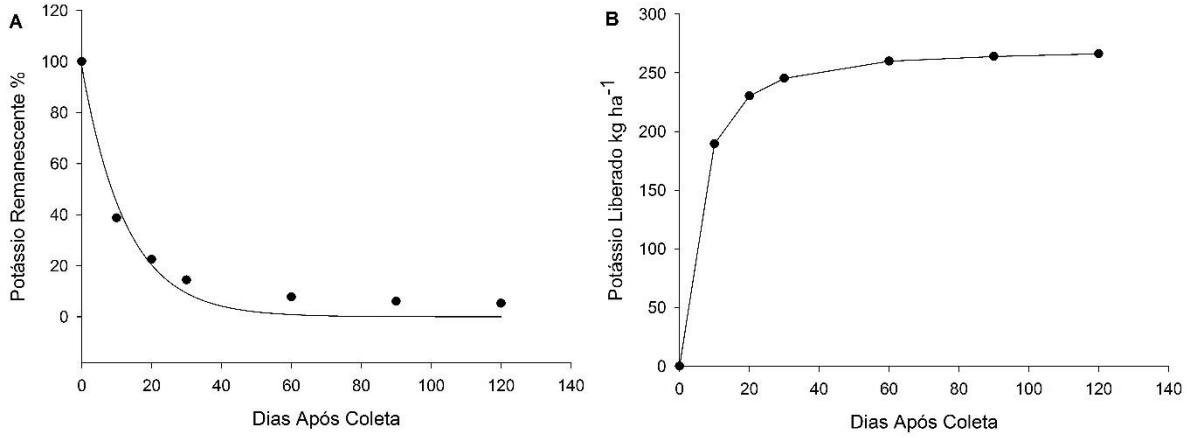

Figura 9 – Potássio remanescente (A) e liberação acumulada de potássio (B) durante 120 dias após a deposição da massa de aveia no solo (média de 4 ambientes e 4 níveis de adubação). Pato Branco-PR, 2019.

Para os diferentes níveis de adubação (Figura 10A), a quantidade de K remanescente é semelhante. Independentemente de quanto fertilizante foi aplicado, as taxas de liberação são muito próximas, e a concentração do nutriente no tecido vegetal não influencia na velocidade de liberação. Já para K liberado (Figura 10B), níveis crescentes de adubação incrementam a quantidade liberada do nutriente, com 195, 243, 301 e 323 kg ha^{-1} nos níveis de 0%, 100%, 200% e 300%, respectivamente.

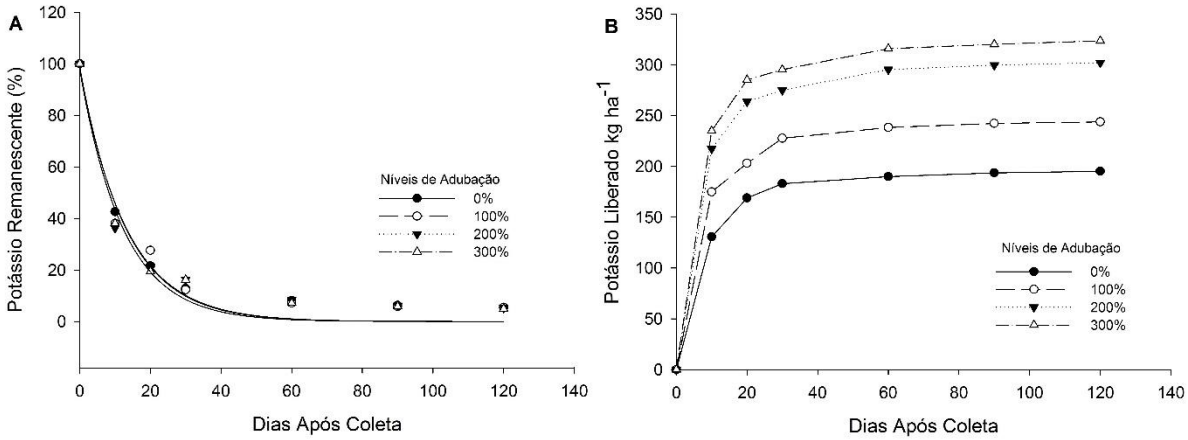

Figura 10 – Potássio remanescente (A) e liberação acumulada de potássio (B) durante 120 dias de avaliação, em função de níveis crescentes de adubação. Pato Branco-PR, 2019.

Maiores velocidades de liberação de K são observadas para os ambientes 3 e 4 (Figura 11A), em função das condições climáticas iniciais (Figura 8B), com maior liberação de K no ambiente 3 (Figura 11B), que também produziu elevada quantidade de MS. Para os ambientes 4, 2 e 1 não houve grandes diferenças na liberação do nutriente, possivelmente em função da semelhança no acúmulo de MS.

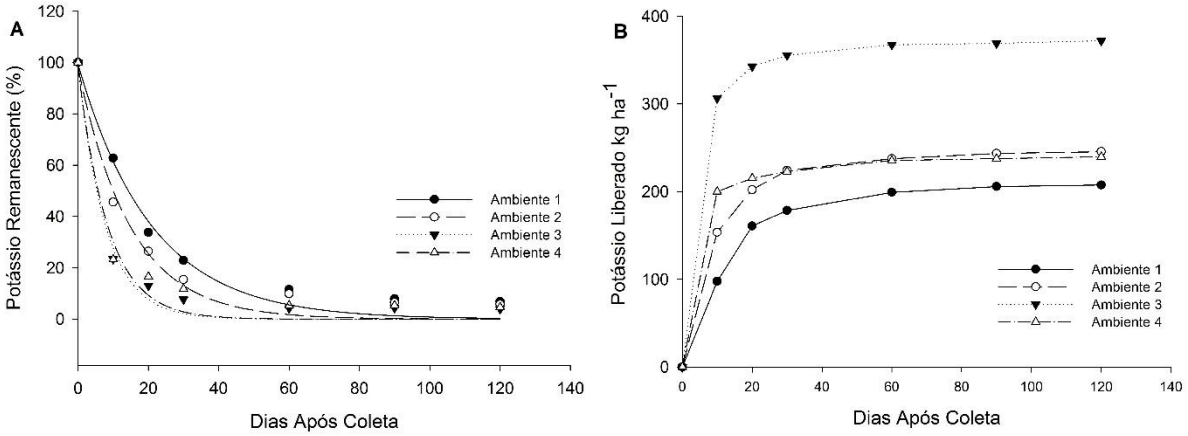

Figura 11 – Potássio remanescente (A) e liberação acumulada de potássio (B) durante 120 dias de avaliação, em função de diferentes ambientes (Ambientes: 1- Bom Sucesso do Sul - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 2- Bom Sucesso do Sul - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja; 3- Itapejara d' Oeste - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 4- Itapejara d' Oeste - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja). Pato Branco-PR, 2019.

4.4 SOJA

Não houve interação significativa entre NA e A para todos os caracteres avaliados (Tabela 7), indicando que para a soja, independente da forma de aplicação (antecipada na cultura de aveia preta, parcelada no cultivo de aveia e na soja ou somente adubação tradicional) e da quantidade do nutriente, o rendimento de grãos mantém-se inalterado.

Apenas a estatura da planta variou com os níveis de adubação (NA), enquanto os caracteres MMS, NNP, NL e NGL variaram com o Ambiente/manejo da adubação (Tabela 7.

Tabela 7 – Quadrados médios da análise da variância conjunta, incluindo as fontes de variação, graus de liberdade (GL) e coeficiente de variação (CV), para as variáveis rendimento de grãos (RG), massa de mil grãos (MMG), estatura (EST), número de nós produtivos (NNP), número de legumes planta^{-1} (NLP) e número de grãos por legume (NGL). UTFPR, Pato Branco - PR, 2019.

Fontes da Variação	GL	RG	MMS	EST	NNP	NLP	NGL
Blocos	2	1862839.6	261.3	27.8	1.932	32.785	0.0002
Níveis de adubação (NA)	3	452998.5^{ns}	13.6^{ns}	260.2**	1.924^{ns}	62.280^{ns}	0.0021^{ns}
Ambientes(A)	5	629681.4^{ns}	199.9**	122.9^{ns}	7.612**	651.722**	0.0401*
NA x A	15	365543.3^{ns}	29.2^{ns}	43.5^{ns}	1.707^{ns}	64.284^{ns}	0.0027^{ns}
Resíduo	46	502234.0	54.7	51.5	1.950	55.968	0.0028
Média		5293.5	183.5	129.5	18.03	57.08	2.54
CV (%)		13.3	4.03	5.54	7.74	13.1	2.08

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0.05$) pelo teste F. ^{ns} não significativo.

Aumentos lineares foram observados na EST de plantas de soja em função dos níveis de adubação (Figura 12F), onde doses maiores de NPK, aceleram seu desenvolvimento inicial e resultam em maior estatura de planta, podendo predispor ao acamamento. Correlações negativas entre estatura e rendimento de grãos foram encontradas em trabalho realizado por Souza et al. (2013), onde plantas de menor estatura apresentaram maior produtividade.

Para os demais caracteres, RG, MMS, NLP, NGL e NNP (Figura 12 A, B, C, D e E, respectivamente), não houve significância para os níveis de adubação, sendo apresentados apenas os valores médios observados.

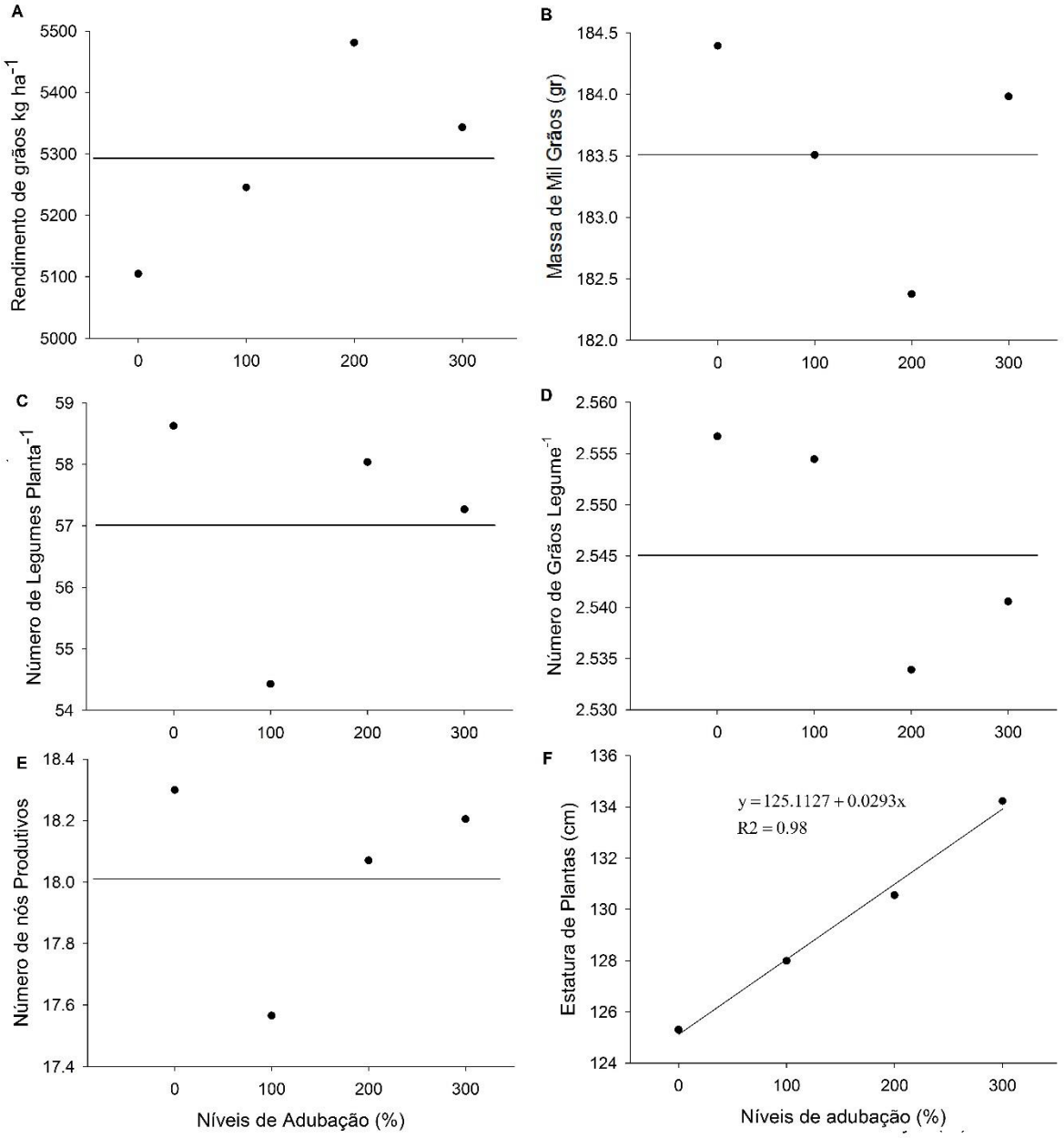

Figura 12 – Rendimento de grãos (RG) (A), Massa de mil grãos (MMG) (B), Número de legumes planta^{-1} (NLP) (C); Número de grãos Legume^{-1} (NGL) (D); Número de nós produtivos (NNP) (E) e Estatura de plantas (cm) (EST) (F) de soja, em função de diferentes níveis de adubação. Pato Branco-PR, 2019.

Alguns trabalhos têm demonstrado que elevadas doses de nutrientes podem levar a condições de estresse, principalmente para o K, devido a seu efeito salino, prejudicando o desenvolvimento radicular e estabelecimento inicial da cultura (BERNARDI et al., 2009; ERNANI et al., 2007). Para o P, quando em condições de elevados níveis do nutriente, efeitos adversos podem ocorrer na absorção de micronutrientes, em especial o Zn (CARNEIRO et al., 2008). Este efeito negativo não

foi observado, mesmo com a aplicação de três vezes a dose recomendada para a soja, e no sulco de semeadura. Como o teor de P no solo era médio no início do experimento (Tabelas 1 e 3), então o efeito da alta dose deste nutriente em precipitar Zn pode não ter sido suficiente para prejudicar a produtividade da soja. No entanto, para o K, Salton et al. (2002) em experimentos conduzidos em casa de vegetação, relatam efeitos negativos no acúmulo de massa seca de parte aérea e raízes de plantas de soja a partir de 30 kg ha^{-1} mantendo-se decrescente até 90 kg ha^{-1}. Em condições de campo esses efeitos ocorrem em menor intensidade e autores não recomendam doses acima de 80 kg ha^{-1} de K_2O (BERNARDI et al., 2009; ERNANI et al., 2007), devido a possibilidade de efeito salino do KCl sobre as raízes. Este efeito também não ocorreu a ponto de afetar a produtividade, uma vez que a dose no sulco foi de 35,3 kg de K_2O ha^{-1} no nível de 100%.

Para os ambientes do estudo, não houve diferença no caractere RG (Figura 13A). Da mesma forma Pacheco et al. (2013) observou que a ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura, manteve os níveis de produtividade da soja. Segatelli (2004), testando parcelamento e antecipação de adubação fosfatada e potássica na cultura de capim pé-de-galinha (*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.), não verificaram incremento de produtividade na cultura da soja. Ainda, para Foloni; Rosolem (2008) a antecipação da adubação potássica na cultura do milheto (*Pennisetum glaucum*) não alterou o rendimento de grãos de soja, corroborando com Silva; Lazarini (2014) onde níveis de adubação potássica, invertidas ou não em plantas de cobertura, não influenciaram o rendimento da soja.

Os resultados sugerem que, independentemente do local do estudo, desde que respeitadas condições elevadas de fertilidade do solo, a antecipação da adubação na cultura da soja, com aplicações na implantação da cultura de inverno, pode se constituir numa alternativa viável, aproveitando preços mais atrativos dos fertilizantes, favorecendo maior produção de biomassa na cultura de inverno e melhor aproveitamento dos nutrientes pelo espaçamento entre linhas dessas culturas, sem prejuízos em termos de produtividade de soja.

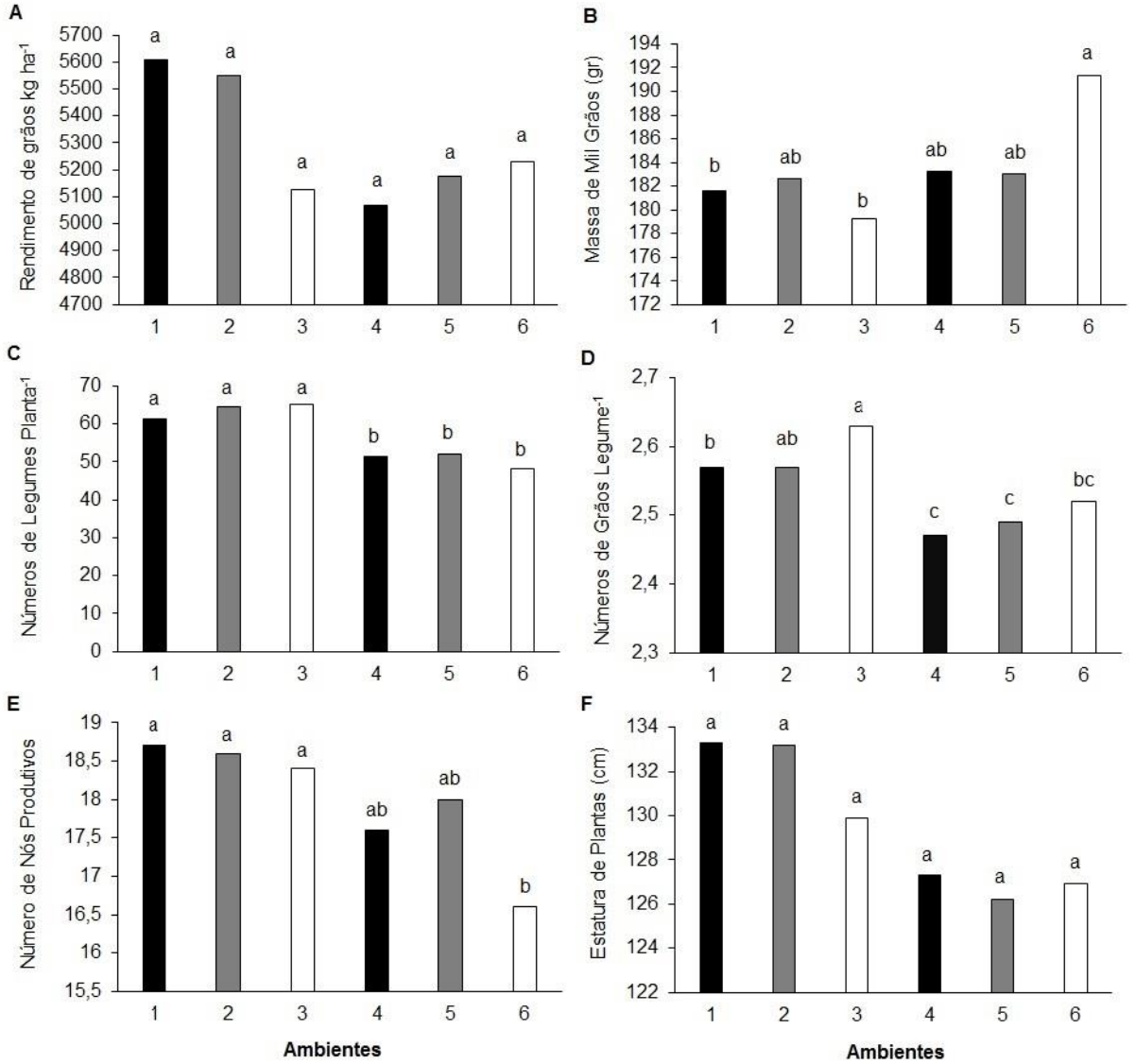

Figura 13 – Rendimento de grãos (RG) (A), massa de mil grãos (MMG) (B), número de legumes planta^{-1} (NL) (C); número de grãos legume^{-1} (NGL) (D); número de nós produtivos (NNP) (E) e estatura de plantas (cm) (EST) (F), em função de diferentes ambientes (Ambientes: 1- Bom Sucesso do Sul - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 2- Bom Sucesso do Sul - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja; 3- Bom Sucesso do Sul - PR Adubação tradicional no cultivo da Soja; 4 Itapejara d' Oeste - PR Toda adubação da soja antecipada para a aveia; 4- Itapejara d' Oeste - PR Parcelamento da adubação da soja - 50% na aveia e 50% na soja; 6- Itapejara d' Oeste – PR Adubação tradicional no cultivo da Soja). Médias seguidas com letras minúsculas entre ambientes, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

Para a MMG (Figura 13B), o ambiente 6 apresentou maior média, não diferindo dos ambientes 2, 4, e 5, e para o ambiente 3 menor valor foi observado, que também não difere dos ambientes 1, 2, 4 e 5.

Quanto a NLP (Figura 13C), os ambientes 1, 2 e 3 apresentaram maiores médias e não diferiram entre si, sendo superiores aos ambientes 4, 5 e 6.

Para NGL (Figura 13D), maior valor é notado no ambiente 3, não diferindo do 2. O ambiente 4 foi o que apresentou menor valor, não diferindo dos ambientes 5 e 6.

Para NNP (Figura 13E), o ambiente 6 apresentou o menor valor não diferindo dos ambientes 4 e 5. Entre os demais ambientes não houve diferenças significativas.

4.5 VIABILIADE ECONÔMICA

A média de produtividade observada no ano de condução do experimento (5293 kg ha^{-1}) é aproximadamente 57,8% superior à média brasileira no mesmo ano (3354 kg ha^{-1}) (CONAB, 2018).

Para o cálculo do rendimento econômico pela prática da adubação, foram utilizados as variações médias de rendimento de grãos para cada tratamento em relação ao tratamento sem aplicação de adubo. As médias produtivas observadas foram de 5105, 5245, 5481 e 5343 kg ha^{-1} ha para os níveis de 0, 100, 200 e 300%, respectivamente. O nível de 100% acrescentou 140 kg ha^{-1} ou 2,33 sacas ha^{-1}. Para o nível de 200%, houve o aumentos de 376 kg ha^{-1} ou 6,26 sacas ha^{-1}. Para o nível de 300% foi observado incrementos de 238 kg ha^{-1} ou 3,96 sacas ha^{-1}.

De acordo com as recomendações de adubação (Tabela 3) para o nível de adubação 100%, foram necessários 294 kg ha^{-1} da formulação NPK 07-34-12 Microessentials®, com 74,5 e 107,8 kg ha^{-1} de KCl para os locais de Bom Sucesso do Sul-PR e Itapejara d' Oeste-PR respectivamente.

Os preços médios de fertilizantes nos últimos 10 anos são apresentados na Tabela 8, tomando como referência a formulação NPK 8-30-10, que se assemelha a utilizada neste trabalho. Também são apresentados os valores médios de KCl e NPK 02-20-18 + Micronutriente, usualmente utilizada, e também preço médio da saca de soja (60 kg).

Tabela 8 – Preços médios de fertilizantes e soja de 2009-2018. UTFPR, Pato Branco - PR, 2019.

Produto	Preço médio - Ano 2009 - 2018 [1,2]
Fertilizante – NPK 8-30-20	R$ 1.333,80
Fertilizante - Cloreto de Potássio	R$ 1.413,30
Soja	R$ 65,77

1 – Preço médio por tonelada. 2 – Preço médio por saca 60kg. Fonte: Conab.

De acordo com as produtividades atingidas e acréscimos no RG, incrementos nos níveis de adubação não são economicamente viáveis em função do custo dos fertilizantes (Tabela 9). A ausência de adubação não influenciou na produtividade e garantiu maior lucratividade.

Vale lembrar que as condições climáticas do ano de cultivo foram ideais, com boa frequência e acumulados de chuva, permitindo bom desenvolvimento da cultura. Ainda em ambos os locais de avaliação o solo apresenta bons níveis de matéria orgânica e teores médios a altos de nutrientes, o que implica em utilização dos nutrientes presentes no solo para atender a demanda da planta, sendo parte exportada com os grãos. Esta quantidade exportada deve ser reposta para evitar o esgotamento gradativo do solo ao longo dos anos.

Tabela 9 – Relação entre custo do fertilizante, incremento de rendimento e lucratividade proporcionada pela aplicação de níveis de adubação em relação ao recomendado para a cultura no estado do Paraná. UTFPR, Pato Branco - PR, 2019.

Nível de adubação	NPK kg ha^{-1}	KCl kg ha^{-1}	Custo do fertilizante ha^{-1}	RG médio kg ha^{-1}	Incre-mento em RG kg ha^{-1}	Valor agre-gado	Receita lí-quida
Bom Sucesso do Sul -PR							
0%	0	0	0	5105	0	R$ 0,00	R$ 0,00
100%	294	74,5	497,40	5245	140	R$ 153,46	-R$ 343,96
200%	588	149	994,85	5481	376	R$ 412,16	-R$ 582,70
300%	882	223,5	1492,30	5343	238	R$ 260,89	-R$ 1.231,40
Itapejara d' Oeste -PR							
0%	0	0	0	5105	0	R$ 0,00	R$ 0,00
100%	294	107,8	544,49	5245	140	R$ 153,46	-R$ 391,03
200%	588	215,6	1088,98	5481	376	R$ 412,16	-R$ 676,82
300%	882	323,4	1633,47	5343	238	R$ 260,89	-R$ 1.372,59

5 CONCLUSÕES

Maiores níveis de adubação na cultura da aveia preta proporcionam maior acúmulo de matéria seca e maior liberação de potássio para a cultura subsequente.

A palhada de aveia preta é importante reservatório de potássio para a cultura subsequente, disponibilizando no curto prazo elevadas quantidades do nutriente.

A cultura da soja, em solos com níveis adequados de fertilidade, não responde à incrementos nos níveis de adubação, além do que a mesma pode ser feita de forma antecipada (total ou parcialmente) na cultura da aveia.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Adubação de sistema, com antecipação e parcelamento no fornecimento de nutrientes na cultura de inverno (aveia preta), apesar de pouco difundida nos sistemas de cultivos atuais, pode ser prática viável, visando incrementar o acúmulo de massa seca da cultura de inverno e melhorar a ciclagem de nutrientes no sistema, sem perdas de produtividade na cultura da soja.

Aumento no fornecimento de nutrientes (NPK), nem sempre é economicamente viável. A ausência de adubação pode ser prática adotada quando os teores de nutrientes no solo são altos, entretanto deve-se tomar cuidado com a frequência de uso, a fim de se garantir a manutenção dos níveis de nutrientes sempre acima do teor crítico no solo.

Em solos de fertilidade construída, com bons níveis de nutrientes, a adubação deve levar em conta a expectativa de produtividade, e o fornecimento de nutrientes deve ser feito de acordo com a quantidade exportada pela cultura, visando manter bons níveis de fertilidade.

REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 601-612, 2003.

AMADO, T. J. C.; SCHLEINDWEIN, J. A.; FIORIN, J. E. Manejo do solo visando a obtenção de elevados rendimentos de soja sob sistema de plantio direto. In: THOMAS, André L.; COSTA, José A. **Soja**: Manejo para altas produtividades de grãos. Porto Alegre: Evangraf, 2010. 248 p.

ARAÚJO, W. F.; SAMPAIO, R. A; MEDEIROS, R. D. Resposta de cultivares de soja à adubação fosfatada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 2, p. 129-134, 2005.

BARBOSA, N. C.; ARRUDA, E. M.; BROD, E.; PEREIRA, H. S. Distribuição vertical do fósforo no solo em função dos modos de aplicação. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 1, p.87-95, 2015.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; PASCOALINO, J. A. L.; SAKO, H.; SÁ DANTAS, J. P.; MORAES, M. F. Soybean Yield Gap in the Areas of Yield Contest in Brazil. **International Journal of Plant Production**, v. 12, n. 3, p. 159-168, 2018.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J; AMADO, T. J. C; MARTIN-NETO, L.; FERNÁNDEZ, S. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 54, p. 101-109, 2000.

BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties. **Agronomy Journal**, v.107, n. 2, p.563-573, 2015.

BERNARDI, A. C. C.; JÚNIOR, J. P. de O.; LEANDRO, W. M.; MESQUITA, T. G. da S.; CARVALHO, M. da C. S.; FREITAS, P. L. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milheto e algodão em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 158-167, 2009.

BHATTACHARYYA, P. et al. Effects of 42-year long-term fertilizer management on soil phosphorus availability, fractionation, adsorption–desorption isotherm and plant uptake in flooded tropical rice. **The Crop Journal**, v. 3, n. 5, p. 387-395, 2015.

BLOOM, Arnold, J. Nutrição Mineral. In: TAIZ, Lincon; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: 4 Ed. Artmed, 2009. p. 95-117.

BORTOLINI, C. G.; SILVA, PRF; ARGENTA, G. Efeito de resíduos de plantas jovens de aveia preta em cobertura de solo no crescimento inicial do milho. **Pesquisa**

Agropecuária Gaúcha, v. 6, p. 83-88, 2000.

CALEGARI, A. Rotação de culturas e plantas de cobertura como sustentáculo do sistema de plantio direto. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Londrina**. 2001. p. 241.

CALEGARI, A.; TIECHER, T.; HARGROVE, W. L.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M. de F.; SANTOS, D. R. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 133, p. 32–39, 2013.

CÂMARA, G. M. de S. Adubação. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BÓREM, A. **Soja:** do plantio a colheita. UFV, 2015. p. 110 - 149.

CAMPOS, M.; ANTONANGELO, J. A.; ALLEONI, L. R. F. Phosphorus sorption index in humid tropical soils. **Soil and Tillage Research**, v. 156, p. 110-118, 2016.

CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio da palha de plantas de cobertura em diferentes estádios de senescência após a dessecação química. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 99-108, 2005.

CARNEIRO, L. F.; FURTINI NETO, A. E.; REZENDE, A. V.; CURI, N.; SANTOS, J. Z. L.; LAGO, F. J. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo-zinco em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.4, p.1133-1141, 2008.

CARNEIRO, M. A. C.; CORDEIRO, M. A. S.; ASSIS, P. C. R.; MORAES, E. S.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; DE SOUZA, E. D. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 455-462, 2008.

CAVALLI, E.; LANGE, A.; CAVALLI, C.; BEHLING, M. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos de culturas no sistema de cultivo soja-milho. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 13, n. 2, p. 5527, 2018.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; HERBES, M.G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M.J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 49-54, 2002.

CERRETA, C. A.; SILVA, L. S.; PAVINATTO, A. Manejo da adubação. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

CESB. Comitê Estratégico Soja Brasil. Desafio Nacional da Máxima Produtividade (2018). Disponível em: http://www.cesbrasil.org.br/desafio-da-soja. Acesso em: 12 de fevereiro de 2019.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. V. 4 - SAFRA 2018/19- N. 6 - Sexto levantamento. Março, 2017. Disponível em:< www.conab.gov.b r>. Acesso em: 5 de dezembro de 2018.

CONAB. Séries históricas – Soja. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 5 de dezembro de 2018.

CONAB. Séries históricas – Aveia. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 5 de dezembro de 2018.

CLEVELAND, C. C.; LIPTZIN, D. C: N: P stoichiometry in soil: is there a “Redfield ratio” for the microbial biomass?. **Biogeochemistry**, v. 85, n. 3, p. 235-252, 2007.

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; VALLELIMA, E.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia,** v.67, n.2, p.481-489, 2008.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; CONTE, O.; JUNIOR, A. A. B.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; OLIVEIRA, M. C. N. Sistemas de preparo do solo: trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja. **Documentos / Embrapa Soja**, ISSN 2176-2937; n. 342. Londrina: Embrapa Soja, 2013.

DE MELLO PRADO, R.; ROMUALDO, L. M.; DO VALE, D. W. Resposta da aveia preta à aplicação de fósforo sob duas doses de nitrogênio em condições de casa-de-vegetação. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 527-533, 2006.

DIVITO, G. A.; SADRAS, V. O. How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? A meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 156, p. 161-171, 2014.

DUARTE, T. C.; CRUZ, S. C. S.; SOARES, G. F.; JÚNIOR, D. G. S.; MACHADO, C. G. Spatial arrangements and fertilizer doses on soybean yield and its components. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 20, n. 11, p.960-964, 2016.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema**

brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro-RJ: Embrapa - SPI, 286 p. 2006.

ENGEL, F.L.; BERTOL, I.; RITTER, S.R. GONZÁLEZ, A.; PÁZ-FERREIRO, J.; VIDAL VÁZQUEZ, E. Soil erosion under simulated rainfall in relation to phenological stages of soybeans and tillage methods in Lages, SC, Brazil. **Soil and Tillage Research**. 103, 216–221, 2009.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 551-595.

FAGERIA, N. K. **The use of nutrients in crop plants**. CRC press, 2009.

FANCELLI, A. L. Fundamentos fisiológicos para o uso de nitrogênio em lavouras de soja. In: FANCELLI, A. L.. **Inovações tecnológicas no sistema de produção soja-milho**. Piracicaba: USP- ESALQ, 2014. p 1-37.

FEDERIZZI, L. C; ALMEIDA, J. L; MORI, C; LÂNGARO, N. C; PACHECO, M. T. Importância da cultura da aveia. In: COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA EM AVEIA. **Indicações técnicas para a cultura da aveia**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2014. p 13-24.

FERRARI, S.; JÚNIOR, E. F.; FERRARI, J. V.; VARGAS, P. F.; MONTANARI, R.; PERSEGIL, E. O.; REIS, A. R. Atributos físicos do solo e desenvolvimento do algodoeiro em semeadura direta. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, v. 8, n. 1, p. 73-83, 2014.

FLOWER, K. C.; CORDINGLEY, N.; WARD, P. R.; WEEKS, C. Nitrogen, weed management and economics with cover crops in conservation agriculture in a Mediterranean climate. **Field Crops Research**, v. 132, p. 63-75, 2012.

FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v. 32, n. 4, p. 1549-1561, 2008

FINK, J. R.; INDA, A. V.; BAVARESCO, J.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; BAYER, C. Phosphorus adsorption and desorption in undisturbed samples from subtropical soils under conventional tillage or no-tillage. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 179, n. 2, p. 198-205, 2016.

FINK, J. R.; INDA, A. V.; BAVARESCO, J.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; BAYER, C. Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 62–68,

2016.

FIORIN, J. E.; VOGEL, P. T.; BORTOLOTTO, R. P. Métodos de aplicação e fontes de fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 2, p. 92-97, 2016.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; JUNIOR, A. A. B.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N.; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178-185, 2012.

FRANCISCO, E. A. B.; DE SOUSA CÂMARA, G. M.; SEGATELLI, C. R. Estado nutricional e produção do capim-pé-de-galinha e da soja cultivada em sucessão em sistema antecipado de adubação. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 259-266, 2007.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; NACKE, H.; MARENGONI, N. G.; CARVALHO, E. A.; COELHO, G. F.. Yield and production components of soybean fertilized with different doses of phosphorus, potassium and zinc. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 660-666, 2010.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; SANTINI, J. M. K. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 4, p. 643-648, 2011.

GUENZI, W.D.; MCCALLA, T.M. Phenolic acids in oat, wheat, sorghum, and corn residues and their phytotoxity. **Agronomy Journal**, v.58 p.303-304, 1966.

HAGEMANN, T. R.; BENIN, G.; LEMES, C.; MARCHESE, J. A.; MARTIN, T. N.; PAGLIOSA, E. S.; BECHE, E. Potencial alelopático de extratos aquosos foliares de aveia sobre azevém e amendoim-bravo. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 509-517, 2010.

HANSEL, F. D.; AMADO, T. J. C.; BORTOLOTTO; R. P.; TRINDADE, B. S.; HANSEL, D. S. S. Influence of different phosphorus sources on fertilization efficiency. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 7, n. 1, p. 103-111, 2014.

HARTWIG, E. E.; KIIHL, R. Identification and utilization of a delayed flowering character in soybean for short-day conditions. **Field crops Research**, v.2, p.145-151, 1979.

HEINZMANN, Franz X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por

culturas de verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 9, p. 1021-1030, 1985.

HEINRICHS, Reges et al. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 331-340, 2001.

HOEFT, R. G. Desafios para obtenção de altas produtividades de milho e soja nos EUA. **Informações Agronômicas**, v. 104, n. 1, p. 1-4, 2003.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. **Embrapa Soja-Documentos (INFOTECA-E)**, 2007.

IPNI. International plant nutrition institute. Disponível em: <<https://www.ipni.net>>, acesso em: 29 maio. 2017.

JIN, H.; LI, H.; RASAILY, R. G.; WANG, Q.; CAI, G.; SU, Y.; QIAO, X.; LIU, L. Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat–maize cropping system in North China Plain. **Soil and Tillage Research,** v. 113, n. 1, p. 48-54, 2011.

JUNIOR, A. de O.; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de; JORDÃO, L. T. Adubação potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes. **Informações agronômicas nº143** – Setembro/2013.

JUNIOR et al. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 660-666, 2010.

KURIHARA, C. H.; HERNANI, L. C. Adubação antecipada no sistema plantio direto. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, 2011.

LACERDA, J. J. de J.; RESENDE, Á. V.; NETO, A. E. F.; HICKMANN, C.; CONCEIÇÃO, O. P. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 769-778, 2015.

LI, J.; LU, J.; LI, X.; REN, T.; CONG, R.; ZHOU, L. Dynamics of potassium release and adsorption on rice straw residue. **Plos One**, v. 9, n. 2, p. e90440, 2014.

LU, S.; LI, Y.; WANG, J.; SRINIVES, P.; NAN, H.; CAO, D.; WANG, Y.; LI, Jinliang.; LI, X.; FANG, C.; . SHI, X.; YUAN, X.; WATANABE, S.; FENG, X.; LIU, B.; ABE, J; KONG, F. QTL mapping for flowering time in different latitude in soybean. **Euphytica**, v. 206, n. 3, p. 725-736, 2015.

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.

MANZONI, S.; TROFYMOW, J. A.; JACKSON, R. B.; PORPORATO, A. Stoichiometric controls on carbon, nitrogen, and phosphorus dynamics in decomposing litter. **Ecological Monographs**, v. 80, n. 1, p. 89-106, 2010.

MARTINAZZO, R.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 3, p. 563-570, 2007.

MALAVOLTA, E.A. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, **Ceres,** 1980. 251p.

MALUF, H. J. G. M.; SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; SILVA, L. de O. G. Decomposição de Resíduos de Culturas e Mineralização de Nutrientes em Solo com Diferentes Texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 39, n. 6, p. 1681-1689, 2015.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Amsterdam: Elsevier; Academic Press, 2012. 684p.

MATOS, M. A.; SALVI, J. V.; MILAN, M. Pontualidade na operação de semeadura e a antecipação da adubação e suas influências na receita líquida da cultura da soja. **Engenharia Agrícola**, v.26 n.2, 2006.

MBUTHIA, L. W.; MARTÍNEZ, V. A.; DEBRYUN, J.; SCHAEFFER, S.; TYLER, D.; ODOI, E.; MPHESHEA, M.; WALKER, F.; EASH, N. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality. **Soil Biology and Biochemistry,** v. 89, p. 24-34, 2015.

MEURER, E.J.; INDA JUNIOR. A. V.. Potássio e adubos potássicos. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARCO, F. A. O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas.** Porto Alegre. Gênesis, 2004. p. 139-152.

NAKAGAWA, J.; CRUSCIOL, C. A. C.; ZUCARELI, C. Teores de nutrientes da folha bandeira e grãos de aveia-preta em função da adubação fosfatada e potássica. **Semina: Ciências Agrárias**, p. 833-840, 2009.

OECD/FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025. OECD Publishing, Paris. Disponivel em: <http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-en>. Acesso em: 23 de maio de 2017.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. de A.; ASSIS. R. L. de; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 9, p. 1228-1236, 2013.

PARVEJ, M. R.; SLATONA, N. A.; PURCELLA, L. C.; ROBERTS, T. L. Potassium fertility effects yield components and seed potassium concentration of determinate and indeterminate soybean. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 3, p. 943-950, 2015.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciência Rural,** Santa Maria, v.34, n.6, p.1779-1784, 2004.

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

PITTA, C. S. R.; ADAMI, P. F.; PELISSARI, A.; ASSMANN, T. S.; FRANCHIN, M. F.; CASSOL, L. C.; SARTOR, L. R. Year-round poultry litter decomposition and N, P, K and Ca release. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 1043-1053, 2012.

RODRIGUEZ-LIZANA, A; CARBONELL, R; GONZÁLEZ, P; ORDÓNEZ, R. N, P and K released by the field decomposition of residues of a pea-wheat-sunflower rotation. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 87, n. 2, p. 199-208, 2010.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de coberturas de solo em função da quantidade de chuva recebida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 355-362, 2003.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S.; GARCIA, Rodrigo Arroyo. Potássio lixiviado da palha de aveia-preta e milheto após a dessecação química. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1169-1175, 2007.

ROWNTREE, S.C.; SUHRE, J.J.; WEIDENBENNER, N.H.; WILSON, E.W.; DAVIS, V.M.; NAEVE, S.L.; CASTEEL, S.N.; DIERS, B.W.; ESKER, P.D.; SPECHT, J.E.; CONLEY, S.P. Genetic gain x management interactions in soybean: I. planting date. **Crop Science**, v. 53, p.1128-1138, 2013.

SALVAGIOTTI, F.; CASSMAN, Kenneth G.; SPECHT, James E.; WALTERS, Daniel T.; WEISS, Albert.; DOBERMANN, Achin. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. **Field Crops Research**, v.108, n. 1, p.1-13, 2008.

SALVAGIOTTI, F.; SPECHT, J. E.; CASSMAN, K. G.; WALTERS, D. T.; WEISS, A.; DOBERMANN, A. Growth and nitrogen fixation in high-yielding soybean: Impact of nitrogen fertilization. **Agronomy Journal,** v. 101, p.958–970, 2009.

SALTON, J. C. et al. Cloreto de potássio na linha de semeadura pode causar danos à soja. **Embrapa Agropecuária Oeste-Comunicado Técnico (INFOTECA-E),** 2002.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, J.; KAMINSKII, L. C. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SANTI, A.; AMADO, T. J. C.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. I-Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1075-1083, 2003.

SEDIYAMA, T. Melhoramento genético da soja no Brasil Central. **Anais do XVIII Simpósio Internacional de Atualização em Genética e Melhoramento de Plantas**. 18ª Ed., Lavras-MG, 2014.

SEGATELLI, C. R. Produtividade da soja em semeadura direta com antecipação da adubação fosfatada e potássica na cultura de Eleusine coracana (L.) Gaertn. 2004. **Tese de Doutorado**. Universidade de São Paulo.

SILVA, A. F.; LAZARINI, E. Doses e épocas de aplicação de potássio na cultura da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 179-192, 2014.

SILVA, A. F.; CARVALHO, M. A. C.; SCHONINGER, E. L.; MONTEIRO, S.; CAIONE, G.; SANTOS, P. A. Doses de inoculante e nitrogênio na semeadura da soja em área de primeiro cultivo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 404-412, 2011.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Influência da cultura anterior e da compactação do solo na absorção de macronutrientes em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v.36, n.10, p.1269-1275, 2001.

SILVA, S. R.; SILVA, I. R.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. S. Effect of compaction on microbial activity and carbon and nitrogen transformations in two oxisols with different mineralogy. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 35, n. 4, p. 1141-1149, 2011.

SILVA, M. A. G.; PORTO, S. M. A.; MANNIGEL, A. R.; MUNIZ, A. S.; DA MATA, J. de D. V.; NUMOTO, A. Y. Manejo da adubação nitrogenada e influência no crescimento da aveia preta e na produtividade do milho em plantio direto. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v. 31, n. 2, p. 275-281, 2009.

SILVA, A. P.; BABUJIA L. C.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, R. A.; HUNGRIA, M. Microbial biomass under various soil-and crop-management systems in short-and long-term experiments in Brazil. **Field Crops Research**, v. 119, n. 1, p. 20-26, 2010.

SOARES, M. M.; SEDIYAMA, T. Macronutrientes. In: SEDIYAMA, Tuneo. **Produtividade da soja**. Londrina: Mecenas, p. 310 : il.; 24 cm, 2016.

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Estadual Paraná. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482p.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, C. H. M. da; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milheto, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.10, p.1462-1470, 2012.

SOUZA, C. A. et al. Arquitetura de plantas e produtividade da soja decorrente do uso de redutores de crescimento. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 3, p. 634-643, 2013.

STEWART, W. M.; DIBB, D.W; JOHNSTON, A. E; SMYTH, T. J. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 1, p. 1-6, 2005.

STEWART, C. E; PAUSTIAN, K.; CONANT, R. T.; PLANTE, A. F.; SIX, J. Soil carbon saturation: Implications for measurable carbon pool dynamics in long-term incubations. **Soil Biology and Biochemistry,** v. 41, n. 2, p. 357-366, 2009.

TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE SOJA – Região Central do Brasil 2012 e 2013. **Londrina: Embrapa Soja**, 2011. 261 p. (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, ISSN 2176-2902; n.15)

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2ª ed. Porto Alegre, Departamento de Solos, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 421-428, 2008.

TORRES, F. E.; LOURENÇÃO, A. da S.; TEODORO; P. E.; SANTOS, W. R; RIBEIRO, L. P.; SOUZA, C. H. M. de; CORRÊA, C. C. G.; LIMA, M. F.. Performance of soybean cultivars at different doses of base fertilization on Brachiaria decumbens straw. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 5, p. 1750-1759, 2015.

TURMEL, M.S.; SPERATTI, A.; BAUDRON, F.; VERHULST, N.; GOVAERTS, Bram. Crop residue management and soil health: A systems analysis. **Agricultural Systems**, v. 134, p. 6-16, 2015.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Oferta e demanda

mundial de soja. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdDataPublications.aspx>. Acesso em: 06 Maio 2017.

VIEIRA, R. C. B.; FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; MORAES, R. P.; CARNIEL, E. Adubação fosfatada para alta produtividade de soja, milho e cereais de inverno cultivados em rotação em Latossolos em plantio direto no Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 794-808, 2015.

VIEIRA, R. C. B.; FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; MORAES, R. P.; CARNIEL, E. Potassium Fertilization for Long Term No-Till Crop Rotation in the Central-Southern Region of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, Manlio Silvestre. **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.299-325, 2006.

VITTI, G. C.; TREVISAN, Willian. Manejo de macro e micro nutrientes para alta produtividade de soja. Piracicaba: **POTAFOS**, Informações agronômicas, n.90, p.1-16, 2000.

VITTI, G. C.; OTTO, R.; SAVIETO, J. Manejo do enxofre na agricultura. **International plant nutrition institute,** Informações agronômicas, n.152, 2015.

VIOLA, R.; BENIN, G.; CASSOL, L. C.; PINNOW, C.; FLORES, M. F.; BORNHOFEN, E. Adubação verde e nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto. Bragantia, v. 72, n. 1, p. 90-100, 2013.

WELLS, M. S.; REBERG-HORTON, S. C.; SMITH, A. N.; GROSSMAN, J. M. The reduction of plant-available nitrogen by cover crop mulches and subsequent effects on soybean performance and weed interference. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 2, p. 539-545, 2013.

WILSON, E. W.; ROWNTREE, S. C.; SUHRE, J. J.; WEIDENBENNER, N. H.; CONLEY, S. P.; DAVIS, V. M.; DIERS, B. W.; ESKER, P. D. NAEVE, S. L.; SPECHT, J. E.; CASTEEL, Shaun N. Genetic gain x Management interactions in soybean: II. Nitrogen Utilization. **Crop Science**, v.54, n.1, p.340-348, 2013.

WIEDER, R.K.; LANG, G.E. A critique of the analytical methods used examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology,** v.63, p.1636-1642, 1982.

ZHANG, X.; ZHANG, J.; ZHENG, C.; GUAN, D.; LI, S.; XIE, F.; CHEN, J.; HANG, X.; JIANG, Yu; DENG, A.; AFREH, D.; ZHANG, W. Significant residual effects of wheat fertilization on greenhouse gas emissions in succeeding soybean growing season. **Soil and Tillage Research,** v. 169, p. 7-15, 2017.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; BALIN, N. M.; CANDIOTTO, G.; GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernal na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 374-382, 2015.