



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ANDERSON HIDEO YOKOYAMA

**RELAÇÃO DOS CULTIVOS DE INVERNO COM A DINÂMICA
DO NITROGÊNIO E O DESEMPENHO PRODUTIVO DA
SOJA EM SUCESSÃO COM DOIS NIVEIS DE ADUBAÇÃO
NITROGENADA**

Londrina
2018

ANDERSON HIDEO YOKOYAMA

**RELAÇÃO DOS CULTIVOS DE INVERNO COM A DINÂMICA
DO NITROGÊNIO E O DESEMPENHO PRODUTIVO DA
SOJA EM SUCESSÃO COM DOIS NIVEIS DE ADUBAÇÃO
NITROGENADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do título de mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli

Co-Orientador: Prof. Dr. Alvadi Antonio
Balbinot Junior

Londrina
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Yokoyama, Anderson Hideo.

Relação dos cultivos de inverno com a dinâmica do nitrogênio e o desempenho da soja em sucessão com dois níveis de adubação nitrogenada / Anderson Hideo Yokoyama. - Londrina, 2018.

72 f. : il.

Orientador: Claudemir Zucareli.

Coorientador: Alvadi Antonio Balbinot Junior.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2018.

Inclui bibliografia.

1. Soja - Adubação - Tese. 2. Rotação de cultivos - Tese. 3. Cultivos de cobertura - Tese. 4. Plantio direto - Tese. I. Zucareli, Claudemir. II. Balbinot Junior, Alvadi Antonio. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

ANDERSON HIDEO YOKOYAMA

**RELAÇÃO DOS CULTIVOS DE INVERNO COM A DINÂMICA DO
NITROGÊNIO E O DESEMPENHO PRODUTIVO DA SOJA EM
SUCESSÃO COM DOIS NIVEIS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do título de mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucarel
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Gustavo Adolfo de Freitas Fregonezi
Centro Universitário Filadélfia – UNIFIL

Prof. Dr. Cássio Egídio Cavenaghi Prete
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Profa. Dra. Marla Alessandra de Araújo
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Denis Santiago da Costa
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 27 de fevereiro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Claudemir Zucareli pela orientação durante o período do Mestrado na UEL e dissertação, sempre com paciência e compreensão.

Ao coorientador Dr. Alvadi Antonio Balbinot Junior pela orientação no experimento na Embrapa e auxílio na dissertação.

À CAPES pela bolsa concedida durante os dois anos de mestrado.

Ao parceiro Ricardo Winchester Ribeiro, por todo o auxílio nos experimentos.

A todo o pessoal da Embrapa, do laboratório de solos e manejo, pela colaboração e paciência: Agostinho, Daniela, Donizete, Dudinha, Eliseu, Esmael, Everson, Gabriela, Gustavo, Ildefonso, Isadora, Jhenifer, João, Joviano, Mariana, Mariluci, Pola, Ronaldo.

Aos estagiários e colegas que me auxiliaram nos experimentos: Ana Carolina, Ana Flávia, André, Antonio, Caio, Camila, Carolaine, Eliza, Fernanda, Flávia, Gislaine, Jefferson, Jorge, Laura, Leonan, Lucas, Natássia, Rafael, Rayane, Sandra e Wellington.

À banca da qualificação, pelas sugestões feitas na dissertação, que foi composta pelos professores: Dr. Alvadi Antonio Balbinot Junior, Dra. Marla Alessandra de Araujo Dr. Ricardo Tadeu de Faria.

Aos professores e a equipe do LABTED.

Agradeço ao Prof Dr. Jackson Kawakami e Dr. Edson Hirose pela indicação concedida para estágio de conclusão de curso de graduação em Agronomia na Embrapa. Ao RH da Embrapa: Marcos, Bruno e Karen.

Gostaria de agradecer também à minha família e aos amigos.

YOKOYAMA, A. H. **Relação dos cultivos de inverno com a dinâmica do nitrogênio e o desempenho da soja em sucessão com dois níveis de adubação nitrogenada**. 2018. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

RESUMO

O impacto das culturas de entressafra, bem como os efeitos da interação dessas com a adubação nitrogenada na implantação das culturas de verão, precisam ser estudados nas plantas de soja (*Glycine max*) e na dinâmica de nitrogênio (N) do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito e diferentes culturas na entressafra da soja e sua interação com a adubação nitrogenada no desempenho agrônômico da oleaginosa e na dinâmica de N solo. O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos completos casualizados, com cinco repetições, em esquema de parcelas subdivididas. Avaliaram-se nas parcelas: pousio, braquiária (*Urochloa ruziziensis*), crotalária (*Crotalaria spectabilis*), milho (*Zea mays*) segunda safra com 0 e 80 kg de N ha⁻¹ em cobertura e trigo (*Triticum aestivum*). Nas subparcelas foram testadas doses de N a implantação da soja (BRS 1010 IPRO indeterminada): 0 e 30 kg ha⁻¹. Avaliaram-se a massa seca da cultura de inverno, índice de área foliar (IAF), índice SPAD, número de nódulos, massa dos nódulos, teor de ureídeos, altura da planta, altura de inserção de primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de mil grãos, produtividade, teores de nitrato, amônio e nitrogênio total. O milho segunda safra com N em cobertura conferiu maiores valores de N-nitrato, até o mês de setembro. Adubação nitrogenada na soja com 30 kg de N ha⁻¹ incrementou nos teores de N-nitrato do solo, somente nos primeiros 30 dias após a semeadura, coincidindo com o estágio V3-V4. O trigo resultou em menor IAF e SPAD da soja até a fase de formação das vagens. A soja que recebeu N conferiu maior IAF e SPAD até a fase de formação das vagens, porém a adubação nitrogenada reduz o número e a massa seca de nódulos, sem influenciar o teor dos ureídeos. O milho com N incrementou a massa de mil grãos da soja. As culturas de entressafra e a adubação nitrogenada na soja não influenciam a produtividade de grãos da soja.

Palavras-chave: *Glycine max*. Plantas de cobertura. Rotação de culturas. Sistema plantio direto. Pousio.

YOKOYAMA, A. H. **Relation of winter crops to nitrogen dynamics and soybean yield in succession with two levels of nitrogen fertilization**. 2018. 72 p. Dissertation (Master`s degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

ABSTRACT

The impact of offseason crops, likely the effects of the interaction between the nitrogen (N) fertilization on the summer crops implantation, should be studied in the soybean (*Glycine max*) plants and N soil dynamic. The aim of this work was to evaluate the effect between off-season crops in soybean and interaction with N fertilization in soybean on the agronomic development and N soil dynamic. The experiment was conducted in a randomized complete block design, with five replications, in a split plot scheme. Evaluating in plots: Fallow, brachiaria (*Urochloa ruziziensis*), crotalaria (*Crotalaria spectabilis*), maize (*Zea mays*) as second season with 0 and 80 kg of N ha⁻¹ in topdressing and wheat (*Triticum aestivum*). In the subplots were nitrogen tested in soybean implantation (BRS 1010 IPRO indetermined): 0 and 30 kg ha⁻¹. Evaluating off-season crops dry mass, leaf area index (LAI), SPAD index, height, first pod height insertion, number of pods per plant, number of grains per pod, thousand grains weight, grains yield, nitrate, ammonium and total nitrogen rates. Among the off-season crops, maize with N in cover showed higher values of N-nitrate in collections from May to October. Fertilization of soybean with N-mineral (30 kg of N ha⁻¹) influenced soil nitrate content. Wheat results in a lower LAI and SPAD until pod development. The soybean with N provide higher LAI and SPAD until pod development and lower nodule number and nodule dry matter, but has no influence in ureides. Maize with N increases the mass of thousand grains. Offseason crops and N fertilization on soybean has no effect in soybean grain yield.

Key-words: *Glycine max*. Cover crops. Crops rotation. No-tillage system. Fallow.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1	Panorama econômico das culturas produtoras de grãos.....	9
2.2	Aspectos gerais da cultura da Soja.....	10
2.3	Rotação de culturas.....	13
2.4	Culturas comerciais de entressafra da soja	14
2.5	Culturas de cobertura na entressafra da soja	16
2.6	Nitrogênio	18
2.7	Nitrogênio e a planta	19
2.8	Relação C/N	20
2.9	Fixação biológica de nitrogênio na soja	21
3	REFERÊNCIAS	24
4	ARTIGO A: CULTURAS DE ENTRESSAFRA E ADUBAÇÃO NITROGENADA MINERAL NA SOJA SOBRE A DINÂMICA DE N NO SOLO	34
4.1	Introdução.....	36
4.2	Material e métodos	37
4.3	Resultados e discussão.....	40
4.4	Conclusões.....	48
4.5	Referências.....	48
5	ARTIGO B: CULTURAS DE ENTRESSAFRA E ADUBAÇÃO NITROGENADA NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA	52
5.1	Introdução.....	54
5.2	Material e métodos	55
5.3	Resultados e discussão.....	59
5.4	Conclusões	67
5.5	Referências.....	67
6	CONCLUSÕES GERAIS	72

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) impacta expressivamente no mercado financeiro e na exportação agrícola mundial, em virtude do valor econômico presente em seus produtos e grãos. O óleo e o biodiesel são obtidos a partir da extração de lipídeos dos grãos da soja. Outro produto é o farelo de soja, utilizado como fonte proteica, que representa uma parte importante da dieta animal.

Diante da expressão econômica da cultura, diversas empresas desenvolveram cultivares adaptadas aos biomas nacionais, aliadas a consolidação do Sistema Plantio Direto (SPD) e outras práticas de manejo. A utilização em conjunto destas práticas permitiram a expansão nas áreas cultivadas e o aumento na produtividade de grãos, resultando em incremento substancial na produção de grãos nas últimas safras.

No Brasil, a cultura de safra de verão mais utilizada é a soja e, na entressafra dessa oleaginosa, é comum as áreas serem utilizadas com trigo ou milho de segunda safra, ou ainda serem mantidas em pousio, sobretudo no Centro-oeste. A prática do pousio leva a degradação do solo pela erosão e oxidação do carbono orgânico, além de permitir alta infestação de plantas daninhas e incrementar os custos de produção. Para contornar essa situação, o SPD é uma prática conservacionista que contribui com a receita da propriedade, reúne os benefícios da rotação de culturas, que proporciona a cobertura vegetal e o baixo revolvimento do solo. O SPD exerce efeito protetor que auxilia contra a erosão, além de aumentar o teor de matéria orgânica e a estruturação física do solo ao longo do tempo.

A diversificação de espécies vegetais, na sucessão e na rotação de culturas, comumente abrangem culturas comerciais, de retorno econômico complementar a soja, como o trigo (*Triticum aestivum*) e o milho (*Zea mays*). Além disso, na entressafra da soja podem ser cultivadas espécies para cobertura do solo, como a crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e a braquiária (*Urochloa ruziziensis*). Um dos fundamentos do SPD é o emprego de plantas que produzam biomassa para que o solo permaneça coberto durante o ano todo.

As culturas de entressafra da soja possuem parte aérea e crescimento radicular distintos entre os cultivos, que podem repercutir em efeitos benéficos nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. O milho segunda safra pode receber fertilizantes nitrogenados (N) mineral, em base e em cobertura, prática

que aumenta a quantidade e qualidade da produção, além da biomassa produzida que beneficia a cultura sucessora. Nesse sentido as culturas de entressafra podem influenciar o desempenho agrônomico da soja cultivada em sucessão, bem como alterar a dinâmica do N no solo. Do mesmo modo, a aplicação de N-mineral no milho segunda safra também pode influenciar os teores de N-mineral no solo durante o cultivo do cereal e após a sua colheita, bem como alterar o desempenho da soja cultivada na sequência.

Por meio da decomposição da biomassa a mineralização dos nutrientes disponibiliza o N na solução do solo, com maior velocidade pelas fábáceas devido a baixa relação C/N. As alterações proporcionadas pelos nutrientes da biomassa e o N-mineral da fertilização influenciam na dinâmica de N, afetando a fixação biológica de nitrogênio (FBN), pois interferem no estabelecimento da simbiose e formação dos nódulos da soja, influenciando o fornecimento de N para a cultura.

A compreensão dos efeitos de culturas de outono/inverno sobre o desempenho agrônomico da soja em sucessão é de fundamental importância para delinear a sequência de culturas que maximizem a rentabilidade do sistema de produção como um todo. Além disso, apesar de vários trabalhos indicarem a falta de resposta da adubação nitrogenada mineral sobre a produtividade da soja no Brasil, no meio técnico ainda há muitos questionamentos sobre a viabilidade do uso de N mineral na implantação da soja, especialmente quando a cultura é implantada sobre alta quantidade de palha com elevada relação C/N.

Neste contexto, consideram-se as seguintes hipóteses: i) As culturas de entressafra da soja influenciam a quantidade de cobertura vegetal, bem como a dinâmica de N no solo ; ii) As espécies cultivadas na entressafra da soja influenciam na nodulação da soja e na porcentagem de N transportado pelas plantas, oriunda da FBN; iii) O acúmulo de N pela soja é afetado pelas culturas de entressafra; iv) O desempenho agrônomico da soja é influenciado pelas espécies de entressafra; v) Há interação entre a fertilização com N-mineral na implantação da soja e culturas de entressafra quanto ao desempenho agrônomico da soja e dinâmica de N no solo.

O objetivo deste trabalho foi o de avaliar o efeito de diferentes culturas na entressafra da soja e sua interação com a adubação nitrogenada no desempenho agrônomico da oleaginosa e na dinâmica de N mineral no solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama econômico das culturas produtoras de grãos

De acordo com USDA (2017), a produção mundial de soja atingiu 351 milhões de Mg. Na última safra, 2016/17, o Brasil produziu aproximadamente 114 milhões de Mg, das quais 63 milhões foram exportadas, com produtividade de $3,3 \text{ Mg ha}^{-1}$. A produção nacional da oleaginosa aumentou em razão da expansão nas áreas cultivadas – atualmente em 34 milhões de hectares – e também em função do aumento de produtividade. (CONAB, 2017). De acordo com esse mesmo autor, o maior produtor brasileiro é o estado do Mato Grosso, com 9 milhões de hectares e 30 milhões de Mg, seguido pelo Paraná com cerca de 5 milhões de hectares, cuja produção perfaz um total de 19 milhões de Mg. A cultura atende o mercado interno e externo e a importância econômica concentra-se principalmente nos seus grãos e derivados, como o óleo vegetal e o farelo, que possui elevado teor proteico (EMBRAPA, 2005).

Com uma produção de 1 bilhão de Mg na safra de 2016/17, o milho (*Zea mays* L.) foi o cereal mais produzido no mundo, sendo que o Brasil ocupa a terceira posição, atrás dos Estados Unidos da América e China (USDA, 2017). É cultivado no Brasil em duas safras. A segunda safra obteve maior importância que a primeira safra, cuja produção foi de 67 milhões de Mg, cerca de 68,5% da produção total de milho no Brasil, que foi de 97 milhões de Mg em uma área de 17 milhões de hectares. A área aumentou em cerca de 12,7% e a produção em 63,5% em relação ao milho segunda safra da safra anterior, com produtividade 45,1% maior, correspondendo a $5,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ na safra 2016/17 (CONAB, 2017). De acordo com Cruz et al. (2008), a baixa produtividade em relação a outros países está ligada, principalmente à baixa fertilidade do solo e à densidade e o arranjo populacional inadequados.

Em 2016 o segundo maior Estado produtor de milho segunda safra foi o Paraná, atrás apenas do Mato Grosso. O Estado produziu 18,3 milhões de Mg em 2,9 milhões de hectares, na qual 13,5 milhões de Mg foram em 2,4 milhões de hectares na segunda safra, que resultou em $5,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ de produtividade (CONAB,

2017). Dessa forma, o milho segunda safra é a principal cultura de entre safra no Brasil e também no Paraná.

Outra espécie que pode ser cultivada na entressafra da soja é o trigo (*Triticum aestivum*). Dentre o gênero *Triticum*, o *T. aestivum* é a espécie de maior expressividade econômica no Brasil. De acordo com a USDA (2017), o trigo produziu 730 milhões de Mg em 2017. O cultivo do trigo tem grande importância para o Paraná, visto tratar-se do maior estado produtor do Brasil, com produtividade de 2,9 Mg ha⁻¹ e produção de 2,4 milhões de Mg, em 0,8 milhões de hectares, pouco menos da metade da produção nacional, de 5,2 milhões de Mg em 1,8 milhões de hectares, com produtividade média de 2,8 Mg ha⁻¹. A produção nacional em 2016 foi de 6,2 mil Mg em 2,1 mil hectares, maior que a de 2017 pelo clima desfavorável e preço de implantação na semeadura (CONAB, 2017).

2.2 Aspectos gerais da cultura da Soja

A soja é pertencente à família Fabaceae, possui nome científico *Glycine max* (L.) Merrill. O centro de origem desta planta é localizado na Ásia, nas proximidades do Rio Amarelo, China. O seu propósito alimentício foi notado há mais de 5000 anos e tem se utilizado nesta função até então, além de compreender a função de Biodiesel para máquinas pesadas (JIAQIANG et al., 2016).

As suas folhas são cotiledonares, unifoliadas e trifoliadas, dependendo do estágio fenológico. A planta é autógama e cleistogâmica, autofecunda-se em um período anterior à abertura da inflorescência, que é do tipo rácemo. Os seus grãos são provenientes das vagens, que são numerosos frutos achatados e deiscentes, que se distribuem ao longo da haste e ramos (SEDIYAMA, 2009).

A raiz da soja é pivotante, caracterizada por apresentar um eixo principal envolta por diversas ramificações, secundárias e terciárias. É possível encontrar nas raízes nódulos típicos da simbiose, resultantes da associação entre as raízes e as bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, com a finalidade de fixar N biologicamente (MENGEL; KIRKBY, 2001).

A participação brasileira no complexo agroindustrial mundial da soja tem crescido, o que demonstra a alta competitividade da soja brasileira, ante aos EUA e Argentina (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2011). A exportação compreendeu,

aproximadamente, 60 milhões de Mg nesta safra. A principal região produtora de soja são o Centro-Oeste, principalmente nos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, seguida do sul com destaque no Paraná e Rio Grande do Sul. Essas regiões totalizam quase 80% da produção nacional de soja (CONAB, 2017).

No Brasil a soja é cultivada como uma cultura anual, na safra de verão, principalmente em SPD, que consiste em um sistema de manejo do solo que se fundamenta no baixo revolvimento do solo, aliado a cobertura vegetal permanente e a rotação de culturas (FRANCHINI et al., 2011). A semeadura da soja contempla os meses de setembro a janeiro. No Paraná, as semeaduras realizadas em outubro e novembro propiciam, em geral, as maiores produtividades de grãos (MEOTTI et al., 2012). Segundo os mesmos autores, é possível compensar a redução de produtividade da semeadura tardia com cultivares de ciclo precoce e médio com porte elevado.

A época de cultivo e a escolha da cultivar dependem do ambiente no qual a lavoura está situada, variando principalmente em função da latitude (FARIAS et al., 2007). As cultivares precoces e com tipo de crescimento indeterminado são as que predominam no mercado (VERNETTI; VERNETTI JUNIOR, 2009; MEOTTI et al., 2012). Em cultivares indeterminadas, o meristema apical no ápice da haste e galhos mantém a atividade vegetativa, produzindo novos nós com folhas trifoliadas, até que a demanda fotossintética pela produção de sementes cesse a produção de matéria seca vegetativa. O tipo de crescimento da soja também pode ser determinado (TING, 1946), no qual a atividade vegetativa cessa com a indução de floração pelo fotoperíodo, quando os meristemas se diferenciam em inflorescências reprodutivas (BERNARD, 1972).

A indução da floração depende da duração do período juvenil, quando esse acaba e o comprimento da noite aumenta, ocorre a diferenciação do meristema em inflorescências reprodutivas (FRANCHINI et al., 2011; TAIZ e ZEIGER, 2013). Em temperaturas do ar abaixo de 13 °C não ocorre a indução floral, e a faixa de crescimento e desenvolvimento ideal é de 20 a 30°C (FARIAS et al., 2007; FRANCHINI et al., 2011).

A soja possui diversas fases de crescimento e desenvolvimento, nas quais Fehr e Caviness (1977) descrevem em estádios fenológicos (Tabela 1). De acordo com Farias et al. (2007), nos estádios vegetativos se contam os nós, partes permanentes do caule no qual se desenvolvem as folhas. Os estádios reprodutivos

se subdividem em floração (R1-R2), formação de vagens (R3-R4), enchimento de grãos (R5-R6) e a maturação (R7-R8). Com o avanço dos estádios reprodutivos, a capacidade de compensação da planta se perde e assim os efeitos dos estresses ambientais são mais notórios (MCWILLIANS et al., 1999).

A água tem enorme influência na cultura da soja. Essa planta possui 90% de seu peso na forma de água durante o crescimento vegetativo. Nota-se ainda que a água é necessária para o crescimento. Os estádios mais dependentes de água são VE e os reprodutivos, com ênfase na fase de enchimento de grãos, período no qual são necessários 7 a 8 mm dia⁻¹ de água. A necessidade de água da soja situa-se entre 450 a 800 mm durante todo o ciclo, variando com as condições ambientais e genética da cultivar (FARIAS et al, 2007). A pluviosidade irregular e umidade inadequada no solo ocasionam estresse por déficit hídrico na planta, sendo agravado pela insolação e alta temperatura (SOUZA et al., 2013). A fim de contornar a falta de umidade no solo, faz-se necessário a utilização de cobertura vegetal na área. A cobertura vegetal é necessária, pois a perda de água por meio transpiração na fase inicial da soja é mínima, decorrente da área foliar reduzida, no entanto a principal forma de perda se dá por evaporação do solo (SALDANHA, 2009).

Tabela 1. Estádios fenológicos de plantas de soja.

Estádios fenológicos	
VE	Emergência de plântulas
VC	Cotiledonar
V1	1º nó e par de folhas unifolioladas
V2	2º nó e primeiro trifólio
Vn	Enésimo nó e n-1º trifólio
R1	Início do florescimento
R2	Pleno florescimento
R3	Início da formação de vagens
R4	Plena formação de vagens
R5	Início do enchimento de grãos
R6	Pleno enchimento de grãos
R7	Início da maturação
R8	Plena maturação

Estádios V - vegetativos e R - reprodutivos da soja, definidos quando a maior fração das plantas estiverem no estágio descrito.

Fonte: Adaptado de Fehr e Caviness (1977).

2.3 Rotação de culturas

A rotação de culturas consiste em uma alternância ordenada de diversas espécies em determinado ciclo na área e ano agrícola. A diversificação de culturas denota um conjunto de benefícios em relação ao simples pousio na entressafra da soja, que contribuem para o incremento e a estabilidade produtiva da área (FRANCHINI et al., 2011).

Na entressafra da soja no Brasil, o pousio pode provocar a degradação do solo e o estabelecimento de plantas daninhas de difícil controle na área de cultivo (BALBINOT JUNIOR et al., 2008; CARVALHO et al., 2013; MORAES et al., 2013). A não utilização de estratégias de manejo adequado em relação ao pousio acarreta em perda de produtividade para a cultura sucessora e a menor eficácia de utilização da área (MORAES et al., 2013).

Quando manejada corretamente, a rotação de culturas propicia diversos benefícios ao manejo fitossanitário, facilitando os tratamentos culturais, além da cobertura vegetal garantir proteção ao solo frente a agentes erosivos, como a chuva e enxurrada (EMBRAPA, 2004). Contorna-se assim, os efeitos negativos da área em pousio.

Segundo Diez et al. (1991), uma área em pousio tende a ter menor teor de N-total, principalmente de $N-NO_3^-$, devido à baixa fixação e maior mineralização, notando-se também teores equivalentes entre as camadas de $N-NO_3^-$, resultante da lixiviação. Efeito semelhante de redução de N-total é observado em áreas com revolvimento do solo (PEREZ et al., 2005). A ciclagem de nutrientes proporcionada pela rotação pode incrementar os estoques de N-total. O cultivo de espécies que forneçam cobertura para o solo, durante o período de pousio é importante para a sustentabilidade do SPD no longo prazo (CARVALHO et al., 2013), o que fortalece a demanda da área por culturas de entressafra.

Segundo Kluthcouski e Aidar (2003), o consórcio de culturas entre braquiária e milho fornece a cobertura vegetal para o sistema plantio direto no verão de forma eficiente. Este acréscimo de cobertura vegetal contribui para o incremento do teor de matéria orgânica do solo, que reflete no aumento da disponibilização do N para as plantas (SOUZA; FERNANDES, 2006), cuja palhada com relação C/N baixa tem mineralização rápida (BALBINOT JUNIOR et al., 2011). O teor de nitrogênio da

lavoura é ainda maior quando se aumenta a diversidade de culturas na área (SMITH et al., 2008).

A produtividade de grãos de soja é maior em solos recobertos com cobertura vegetal de espécies de entressafras, do que em pousio não manejado, a cobertura antecipa até mesmo os efeitos benéficos do SPD (BRANCALIÃO, et al., 2015). Fuentes et al. (2008), observaram que solos sem revolvimento e sem palhada demonstram redução na qualidade de solo e na produção de grãos. Efeito contrário é observado com a diversificação de espécies, que influencia positivamente a produtividade de diferentes culturas, incluindo a soja (ALMEIDA et al., 2008; FRANCHINI et al., 2012; BRANCALIÃO, et al., 2015). Costa et al. (2003) observaram que solos sob SPD têm temperatura regular e umidade maior que o Sistema Convencional, contribuindo para a produtividade e rentabilidade das culturas no sistema de produção

A cultura da soja tem incremento na produtividade quando possui fabáceas como a *Crotalaria spectabilis* (CARVALHO et al., 2013) e o guandu alocadas na rotação de culturas, que favorecem as propriedades físicas e químicas do solo (ALMEIDA et al., 2008). Segundo Smith et al. (2008) várias culturas além das fabáceas, como a *Urochloa ruziziensis* (LOSS et al., 2011), incrementam a produtividade da cultura com a diversificação de espécies na lavoura, especialmente em regiões de pouca incidência de geadas. O cultivo dessas espécies contribuí para que haja cobertura vegetal do solo para as culturas em sucessão (BALBINOT JUNIOR et al. 2011).

2.4 Culturas comerciais de entressafra da soja

As culturas comerciais de entressafra permanecem estrategicamente na janela entre as safras de verão, de modo a compartilhar a área durante o período no qual permaneceria em pousio (outono/inverno). Assim, mesmo na entressafra da soja obter retorno econômico é possível em um período no qual não é possível semear a soja, tendo em vista o vazio sanitário da mesma (CONAB, 2017).

O milho é pertencente à família Poaceae, amplamente cultivado no mundo devido à importância econômica presente e os diversos derivados obtidos da planta e grãos (USDA, 2017). No Brasil é cultivado em duas safras, com maior

destaque econômico para a segunda safra, que é semeada após a colheita da soja entre os meses de janeiro a abril (CRUZ et al., 2011).

O acúmulo de biomassa seca no milho é afetado por fatores ambientais, em que os principais são a radiação solar, precipitação pluvial e temperatura (LANDAU et al., 2009). Adicionalmente, a fertilização do solo contribui com o incremento da biomassa, principalmente com N-mineral, já que é o nutriente mais exigido pela cultura, que interfere no teor de proteína e produção de grãos (PAVINATO et al., 2008). Assim, é importante a aplicação de fertilizantes a base de N-mineral quando se almeja produtividades elevadas (ARAÚJO et al., 2004; DOURADO NETO et al., 2004; SOUZA et al., 2011; GAZOLA et al., 2014). A adubação mineral com N é realizada na semeadura e em cobertura (CRUZ et al., 2011).

A massa seca total produzida pelo milho é em média $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ (LIMA et al., 2016). A partir de $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, a palhada de milho já reduz significativamente a emergência de buvas (*Conyza canadensis* e *C. bonariensis*) (YAMASHITA; GUIMARÃES, 2016). Essa característica torna o milho segunda safra ainda mais interessante, já que facilita o manejo de plantas daninhas de difícil controle.

Outra cultura comercial que pode ser usada na entressafra da soja, é o trigo e especialmente na região Sul do Brasil. Essa espécie pertence à família Poaceae, é cultivado no sul do país competindo em área com a aveia-preta (*Avena strigosa*) durante a safra de inverno. Uma das vantagens é que pode ser semeado em locais de temperatura mais baixa, entrando em áreas em que o milho segunda safra não é uma opção (PEREIRA et al., 2015).

Estas espécies propiciam aumento na produtividade da soja em sucessão (FRANCHINI, 2011), provavelmente por contribuírem com o SPD no acúmulo de cobertura vegetal. O trigo é versátil e participa de sistemas de produção que incluem pastagens, sem prejudicar o rendimento de grãos da soja (SANTOS et al., 2014).

O trigo fornece massa seca de parte aérea de 3 a 7 Mg ha^{-1} (MUMBACH et al., 2017). Um ponto positivo é que a cobertura de poáceas facilitam o controle de plantas daninhas, como o capim amargoso (*Digitaria insularis*) e a buva (*C. bonariensis*), já que possuem efeito supressor que atrasa o crescimento das mesmas, o que as deixam suscetíveis ao controle químico por mais tempo

(GAZZIERO et al., 2010). A supressão dessas plantas daninhas pelo trigo é um dos principais motivadores que fazem com que a cultura continue sendo semeada pelos agricultores paranaenses, pois gera redução substancial nos custos de produção. Contribui ainda por ser uma cultura que não é hospedeira do nematoide de cisto da soja (*Heterodera glycines*) (PEREIRA et al., 2015).

2.5 Culturas de cobertura na entressafra da soja

As espécies de cobertura são utilizadas para melhorar a qualidade do solo, diminuir a erosão e reduzir a incidência de plantas daninhas e algumas espécies de insetos-praga, doenças e fitonematóides (BALBINOT JUNIOR et al., 2008; FRANCHINI et al., 2011). As plantas que produzem biomassa seca de 6,0 Mg ha⁻¹ para acúmulo de cobertura vegetal, fornecem boa taxa de cobertura (ALVARENGA et al., 2011).

As braquiárias são da família Poaceae, pertencentes ao gênero *Urochloa*. Quando empregada como cultura para cobertura do solo, pode aumentar o teor de matéria orgânica e auxiliar na melhora das características do solo, em seus atributos físicos, diminuindo a resistência do solo à penetração e privilegiando a estabilidade de agregados do solo (CUNHA et al., 2007). Além disso, as braquiárias possuem alta capacidade de supressão de emergência e crescimento de plantas daninhas (LIMA et al., 2014).

Sistemas como a integração lavoura-pecuária (ILP), na qual a braquiária participa, melhoram as características físicas e químicas do solo, aumentando os teores de carbono orgânico e nitrogênio dos agregados do solo (LOSS et al., 2011). Existem diversas espécies de braquiária, em que a utilização consiste principalmente em alimentação animal (BALBINOT JUNIOR et al., 2009; CRUSCIOL et al., 2015) e cobertura vegetal recicladora de nutrientes (ROSSI et al., 2013).

Segundo Franchini et al. (2011), a *U. ruziziensis* é superior na aptidão para o SPD que a *U. brizantha*, pela maior facilidade de manejo, maior suscetibilidade a dessecação e uma menor formação de touceiras. No cerrado, a *U. ruziziensis* se destaca como cobertura vegetal no período seco por ter taxa de decomposição mais rápida e por produzir maior quantidade de matéria seca que o sorgo granífero (KLIEMANN et al., 2006 e ROSSI et al., 2013). A *U. ruziziensis* não

interfere na produtividade de grãos da soja, sob diferentes períodos de dessecação (8 a 35 dias) (FRANCHINI et al., 2014).

A palhada da braquiária imobiliza temporariamente N mineral da solução do solo durante o processo de decomposição, o que diminui a disponibilidade e atrasa o arranque inicial das plantas de soja, quando a FBN ainda não opera em plenitude (HUNGRIA et al., 2006b). Uma opção seria adubar as braquiárias no outono/inverno com N a fim de aumentar a produção de biomassa e reduzir a imobilização temporária de N na soja cultivada em sucessão. No entanto, Tanaka (2015) conclui que realizar adubação com N-mineral na safra de inverno, em plantas de cobertura *U. brizantha* e *U. ruziziensis*, não culmina em melhora no desempenho produtivo da cultura da soja. Segundo Lima et al. (2016), o fornecimento de ureia não interfere na produtividade, número de perfilhos, teor de N-total, proteína bruta e clorofila relativa da *U. ruziziensis*.

Aos 30 dias a *U. ruziziensis* produziu 2,6 Mg ha⁻¹ de matéria seca da parte aérea (LIMA et al., 2016), aos 84 dias produziu 3,7 Mg ha⁻¹ (MOREIRA et al., 2014). Entretanto, é relatada a produção de 7,2 Mg ha⁻¹ em um sistema de integração lavoura-pecuária, em que a braquiária vegetou durante três meses, sofreu pastejo bovino durante cinco meses e vegetou por cinco meses novamente (FRANCHINI et al., 2014).

Outra espécie de cobertura que pode ser utilizada na entressafra da soja é a *Crotalaria spectabilis*, que é pertencente à família Fabaceae. Essa planta tem efeitos alelopáticos que contribuem para o manejo de fitonematóides, que reduzem a população e contribuem para o manejo fitossanitário (SILVEIRA; RAVA, 2004; ASMUS et al., 2008). Enfatiza-se que um dos principais problemas da sojicultura em várias regiões brasileiras é a alta população de fitonematóides, em função do cultivo repetido da soja nas áreas agrícolas. A *Crotalaria spectabilis*, em cultivo solteiro ou consorciada, contribui para a redução de fitonematóides que infestam a soja (DEBIASI et al., 2016).

A *C. spectabilis* produz 5,45 Mg ha⁻¹ de massa seca (TEODORO et al., 2015), que é rica em N e com relação C/N baixa, o que favorece a rápida decomposição (CARVALHO et al., 2013) e mineralização de nutrientes. Silva et al. (2008) relataram que a maior parte do nitrogênio dos resíduos vegetais da *C. spectabilis* ficam no solo, em forma orgânica, proporcionando melhor absorção de N

e conseqüentemente, maior biomassa seca para culturas subseqüentes como o milho.

A cobertura vegetal proporcionada pela crotalária tem biomassa verde e seca superior à milheto, em condição de déficit hídrico, com uma taxa de cobertura de solo que também superior (CARVALHO et al., 2013).

2.6 Nitrogênio

O nitrogênio (N) está presente em 78% da atmosfera, porém, na forma de gás nitrogênio (N_2) que é indisponível para as plantas. Esta forma de N exige grande gasto energético para a dissociação, em virtude da tripla ligação covalente fortemente estável. Deste modo, o N disponível para as plantas é encontrado a partir de descargas elétricas fortes, como raios, que tem capacidade de quebrar a ligação e liberar os átomos de N. O principal meio de disponibilização de N é a fixação biológica de nitrogênio, realizada através de microrganismos procariontes que são encontrados em diversos ecossistemas, como solos e oceanos, além da participação simbiótica com plantas. Outro meio para fornecer N às plantas é através da fixação industrial, pelo processo Haber-Bosch, em que utiliza-se alta pressão e alta temperatura para dissociar o N_2 (SOUZA; FERNANDES, 2006; GARCIA et al., 2013).

A nitrificação é uma reação que oxida, a amônia (NH_3) para nitrito (NO_2^-) por meio das Nitrossomonas, nitrito para nitrato (NO_3^-) por meio das Nitrobacter (SIGNOR; CERRI, 2013). O processo contrário a nitrificação é a desnitrificação, no qual o NO_3^- é reduzido até N_2 , por bactérias anaeróbias facultativas e alguns fungos (SIGNOR; CERRI, 2013). Dentro desta reação podem ocorrer produtos intermediários, como o nitrito (NO_2^-), óxido nítrico (NO) e óxido nitroso (N_2O), que contribuem com o efeito estufa (THOMSON et al., 2012; GARCIA et al., 2013).

A nitrificação e a desnitrificação são influenciados pelas características do solo: aeração, compactação, temperatura, umidade, pH, matéria orgânica, N disponível, relação C/N, textura, manejo e a rotação de culturas (SNYDER et al., 2009). A nitrificação é uma reação aeróbia, portanto a baixa concentração de O_2 afeta negativamente essa reação (KHALIL et al., 2004). Ocorre no meio também a amonificação, processo de liberação de amônio (NH_4^+) e NH_3 ,

que provém do material orgânico decomposto por bactérias saprófitas e alguns fungos (THOMSON et al., 2012).

2.7 Nitrogênio e a planta

O N é o macronutriente exigido em maior quantidade pelas plantas, portanto é o que mais limita o crescimento e o desenvolvimento. É componente de diversos constituintes celulares como proteínas e ácido nucléicos. Juntamente com o carbono, hidrogênio e oxigênio, participa da biossíntese de todos os aminoácidos que estão envolvidos no crescimento, desenvolvimento e metabolismo vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Dentre as formas de N encontradas no solo, o N-orgânico é uma que não está prontamente disponível para as plantas, apesar de participar de 98% do N-total (URQUIAGA; ZAPATA, 2000). O N-NO_3^- e N-NH_4^+ são formas de N-inorgânico, que são disponíveis no solo para as plantas, mineralizados a partir da fração de N-orgânico (D'ANDRÉA et al., 2004). As plantas absorvem predominantemente essas formas de N-inorgânico (WILLIAMS; MILLER, 2001). A absorção e assimilação desse N exige investimento energético pela planta, já que é um processo ativo (SOUZA; FERNANDES, 2006). As fabáceas aumentam os estoques de N-inorgânico no solo, especialmente N-NO_3^- em condições aeróbicas (SMITH et al., 2008).

Segundo Alves et al. (2006), a soja exporta 85,8% do N acumulado na parte aérea, para os grãos que são ricos em proteínas e lipídeos. Essa redistribuição ocorre após a senescência e contribui para o enchimento de grãos, juntamente com a absorção do N mineralizado do solo (TA; WEILAND, 1992; SOUZA; FERNANDES, 2006;) e a redistribuição dos nutrientes dos nódulos, em função da degradação, ao final do ciclo da cultura (FARGEIX et al., 2004), interferindo diretamente no volume, peso e qualidade dos grãos na colheita. Hungria et al. (2001) observaram que para produzir 3 Mg ha^{-1} de grãos são necessários aproximadamente 240 kg ha^{-1} de N.

A adubação nitrogenada é realizada com diversas fontes de N-mineral, que são provenientes principalmente de reservas minerais e por fixação industrial e biológica. Os fertilizantes que provém de fonte industrial, são derivados do gás amoníaco (NH_3) produzido a partir do processo Haber-Bosch. Alguns destes fertilizantes são a ureia ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) e o nitrato de amônio (NH_4NO_3).

A ureia possui 45% de N (100% amídica) em sua composição, perfaz 75% do total de fertilizantes nitrogenados no Brasil, no entanto precisa de umidade para que seja aproveitada pelas plantas, com possíveis perdas por lixiviação e desnitrificação (BREDA et al., 2010) e volatilização de formas como NH_3 (CIVARDI et al., 2011). Enquanto que a composição do nitrato de amônio é de 34% de N (50% nítrica e 50% amoniacal), com a vantagem da forma amoniacal ser menos vulnerável a perdas.

No milho o N-mineral também contribui com a qualidade e a quantidade da produção de grãos, além do aumento da biomassa seca da planta. No caso do milho segunda safra, a fertilização nitrogenada é uma prática comum e é realizada em semeadura e em cobertura (ARAUJO et al., 2004; DOURADO NETO et al., 2004; ALVES et al., 2006; PAVINATO et al., 2008; SILVA et al., 2008; LANDAU et al., 2010; CRUZ et al., 2011; SOUZA et al., 2011; GAZOLA et al., 2014). A adubação em culturas de entressafra como o milho tem efeito residual para próxima cultura de verão (SANDINI et al., 2011; CAIONI et al., 2016; PARENTE et al., 2016). Segundo Caioni et al. (2016), o efeito residual da palhada do milho que recebeu 180 kg ha^{-1} de N, chega a 20% de produtividade a mais na soja.

Na cultura da soja a aplicação de $30 \text{ kg de N mineral ha}^{-1}$, resultou no aumento do crescimento vegetativo inicial da cultura, sem causar, no entanto, variação na produtividade (MENDES et al., 2008; FRANCHINI et al., 2015, HUNGRIA & MENDES, 2015, BALBINOT JUNIOR et al., 2016; KASCHUK et al., 2016; WERNER et al., 2016). Mesmo com uma variação de 110 a 560 mil sementes viáveis ha^{-1} a produtividade não diferenciou, além da ausência de diferença significativa de altura ao final do ciclo (SILVA et al., 2011; WERNER et al., 2016), bem como para o teor de N nas folhas, componentes de rendimento, teores de óleo e proteína dos grãos (BALBINOT JUNIOR et al., 2016). Tratando-se de uma prática economicamente dispensável (SALVAGIOTTI et al., 2008; KASCHUK et al., 2016).

2.8 Relação C/N

A relação C/N, entre Carbono (C) e Nitrogênio (N), funciona como um indicador de velocidade de decomposição (MELILLO et al., 1982). Para ser decomposta o resíduo deve ter relação $\text{C/N} < 24$, para que haja favorecimento da decomposição e mineralização dos nutrientes (FORTES et al., 2012). De modo que

a relação C/N e a velocidade de decomposição de resíduos são inversamente proporcionais (MELILLO et al., 1982). A relação C/N alta favorece a imobilização dos nutrientes pela palhada, que pode afetar a disponibilidade de N para a planta, portanto, existe importância em baixar a relação, que é feita com auxílio da adubação nitrogenada (VITTI et al., 2008).

As culturas de entressafra fornecem cobertura vegetal com diferentes relações C/N que impactam na qualidade do solo (BALBINOT JUNIOR et al., 2011) e podem alterar a disponibilidade de N mineral às culturas implantadas na sequência. A reciclagem de nutrientes desses resíduos disponibilizam nutrientes após a decomposição, já que as raízes destas espécies tem alcance maior e absorvem em camadas mais profundas (DUDA et al., 2003; ZIECH et al., 2015). As poáceas em geral possuem relação C/N mais alta que as fabáceas, de modo que uma das vantagens do consórcio de fabáceas e poáceas é a taxa de decomposição acelerada (CASALI et al., 2016).

2.9 Fixação biológica de nitrogênio na soja

Os fertilizantes de N-mineral são produzidos a partir de uma fonte fóssil não renovável, o gás natural (CANTARELLA; MARCELINO, 2008). Assim, é interessante a utilização de fontes alternativas. Outra fonte de N para a planta, principalmente para as fabáceas é a FBN, em que ocorre uma relação entre bactérias fixadoras e plantas hospedeiras (SOUZA; FERNANDES, 2006). Salienta-se que a FBN pode ser alterada pela dinâmica dos nutrientes no solo (LIU et al., 2010).

A maior parte FBN é realizada por organismos procariotos de vida livre. Entre as plantas, a FBN é realizada por organismos procariotos fixadores de N presentes no solo, que convertem N atmosférico em $N-NH_4^+$. Esses são seres de vida livre e liberam o N fixado somente após a sua decomposição (TAIZ; ZEIGER, 2013), ou são simbiontes e fornecem N em troca de nutrientes, carboidratos e energia (FRANCHE et al., 2009; TAIZ; ZEIGER, 2013). Segundo os mesmos autores, diversos gêneros de bactérias tem a capacidade de realizar a FBN com as fabáceas, como *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Protorhizobium*, *Rhizobium* e *Sinorhizobium*. Porém, as bactérias do gênero *Bradyrhizobium* possuem a capacidade de estabelecer uma relação simbiótica mais eficiente, na qual ela

fornece N para a soja para que a produção seja satisfatória, além de elevar o balanço de N (ALVES et al., 2006).

O rizóbio requer condições aeróbias e o complexo nitrogenase exige condições anaeróbias para a FBN, sob condições naturais ou criadas pelo mesmo, em estruturas especializadas da planta hospedeira denominadas nódulos. A nodulação ocorre em um processo complexo que envolve troca de sinais e fitormônios (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A FBN é afetada por diversos fatores bióticos ou abióticos, como os nutrientes presentes na solução do solo. A aeração, temperatura e umidade do solo podem afetar a FBN, de forma a interromper a formação dos nódulos e caso estejam formados, paralisar a nitrogenase (MOREIRA et al., 1992). A adição de fertilizante N-mineral no solo reduz a quantidade de N fixado em plantas de diferentes espécies (COLETTA, 2010; KINUGASA et al., 2012), além de número e massa seca de nódulos menores (KASCHUK et al., 2016; SATURNO et al., 2017). Mendes et al. (2008) ressaltam que a nodulação e a infecção das bactérias podem ser inibidas com a utilização de fertilizantes nitrogenados em semeadura ou suplementação tardia, que apesar de melhorar a produtividade, são economicamente inferiores à FBN, mesmo em sistema plantio direto ou convencional.

As culturas na entressafra liberam nutrientes nos restos culturais, a partir da mineralização e decomposição, que varia com a relação C/N. A presença destes nutrientes na solução do solo influenciam a FBN, pela presença de compostos nitrogenados que causam inibição da formação de nódulos, por falta de estímulo em decorrência do N na forma inorgânica (CARROLL; GRESSHOFF, 1983; STEPHENS; NEYRA, 1983; GIBSON; HARPER, 1985) e principalmente maiores teores de N-nitrato (MINCHIN; WITTY, 2005; FOO et al., 2013). Certas concentrações de N-inorgânico na solução do solo inibem a nitrogenase, fazendo com que haja paralisação da FBN (STEPHENS; NEYRA, 1983).

No entanto Moreira e Siqueira (2006) verificaram que baixas doses de nitrogênio na soja, favorecem a FBN e permitem o desenvolvimento inicial mais pronunciado na cultura. No entanto, em culturas como o trigo, a FBN ocorre com o gênero *Azospirillum*, que quando aliada ao N-mineral traz melhoras significativas na qualidade de grãos (BRZEZINSKI et al., 2014). Estudos voltados a viabilidade da adubação nitrogenada aliada a FBN na soja se fazem necessários, principalmente

com estirpes de simbioses que tolerem o N-inorgânico. Por isso, a adubação nitrogenada na soja ainda carece de estudos (WOLI et al., 2013).

Estima-se que com a inoculação bem sucedida, a FBN forneça o N de forma satisfatória para uma lavoura de alto desempenho produtivo de soja, juntamente com o N mineral absorvido da solução do solo (HUNGRIA et al., 2006a; 2006b). Estes pesquisadores obtiveram experimentos no qual a produtividade da lavoura foi superior a 5 Mg ha⁻¹. Para produzir quantidade equivalente se faz necessário aplicação na ordem de 200 kg de N ha⁻¹ com o uso de N-mineral (BARBARO et al., 2009; ZILLI, 2010). A FBN impacta na economia agrícola do Brasil por permitir economia em fertilizantes N-mineral (FAGAN et al., 2007), que é uma vantagem econômica que auxilia na competição (HUNGRIA; MENDES, 2015).

O número e o peso dos nódulos, utilizados para avaliar a FBN, é feita a partir da contagem e pesagem dos nódulos viáveis nas raízes das plantas de soja (HUNGRIA; ARAUJO, 1994; HUNGRIA et al., 2006b; SATURNO et al., 2017). Outra forma de estimar a FBN na planta é a quantificação do teor de N-ureídeos, provenientes do pecíolo dos trifólios, que são a alantoína e o ácido alantóico, formas de transportadas de N dos nódulos para a parte aérea da planta (HUNGRIA; ARAUJO, 1994; KING; PURCELL, 2005; HUNGRIA et al., 2006b).

3 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, V. P.; ALVES, M. C.; SILVA, E. C.; OLIVEIRA, S. A. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1227-1237, 2008.
- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- ALVES, B. J.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F. M.; HECKLER, J. C.; MACEDO, R. A. T.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 449-456, 2006.
- ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 771-777, 2004.
- ASMUS, G. L.; INOMOTO, M. M.; CARGNIN, R. A. Cover crops for reniform nematode suppression in cotton: greenhouse and field evaluations. **Tropical Plant Pathology**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 85-89, 2008.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; WERNER, F.; FERREIRA, A. S. Nitrogênio mineral na soja integrada com a pecuária em solo arenoso. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 2, p. 107-113, 2016.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J.; VEIGA, M. Formas de uso do solo no inverno e sua relação com a infestação de plantas daninhas em milho (*Zea mays*) cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, v. 26, p. 569-576, 2008.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1925-1933, 2009.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; VEIGA, M.; MORAES, A.; PELISSARI, A. MAFRA, A. L.; PICOLLA, C. D. Winter pasture and cover crops and their effects on soil and summer grain crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1357-1363, 2011.
- BARBARO, I. M.; MACHADO, P. C.; BARBARO JUNIOR, L. S.; TICELLI, M.; MIGUEL, F. B.; SILVA, J. A. A. Produtividade da soja em resposta á inoculação padrão e co-inoculação. **Colloquium Agrariae**, v. 5, p. 1-7, 2009.
- BERNARD, R. L. Two genes affecting stem termination in soybeans. **Crop Science**, v. 12, n. 2, p. 235-239, 1972.
- BRANCALIÃO, S. R.; EIRA AGUIAR, A. T.; BRANCALIÃO, E. M.; LIMONTA, C. R.; ROSSI, C. E.; CRISTOVÃO, N. N. Produtividade e composição dos grãos de soja

em rotação com culturas de cobertura após o aporte de nitrogênio. **Nucleus**, v. 12, p. 69-76, 2015.

BREDA, F. A. F.; WERNECK, C. G.; ALTOE, A.; LIMA, E. S. A.; POLIDORO, J. C.; ZONTA, E.; LIMA, E. **Perdas por volatilização de n-ureia revestida com polímero**. In: FERTBIO, Guarapari, 2010.

BRZEZINSKI, C. R.; ZUCARELI, C.; HENNING, F. A.; ABATI, J.; PRANDO, A. M.; HENNING, A. A. Nitrogênio e inoculação com *Azospirillum* na qualidade fisiológica e sanitária de sementes de trigo. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 57, n. 3, p. 257-265, 2014.

CAIONI, S.; LAZARINI, E.; PARENTE, T. L.; BOSSOLANI, J. W.; SOUZA, L. G. M. PIVETTA, R. S.; DICKMANN, L. Doses de molibdênio e nitrogênio em milho safrinha e efeito residual na cultura da soja em plantio direto. **Revista Espacios**, v. 38, n. 19, p. 4, 2016.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. In: FANCELLI, A. L. **Milho - Nutrição e adubação**. Piracicaba: FEALQ, 2008. p.36-55.

CARROLL, B. J.; GRESSHOFF, P. M. Nitrate inhibition of nodulation and nitrogen fixation in white clover. **Zeitschrift für Pflanzenphysiologie**, v. 110, n. 1, p. 77-88, 1983.

CARVALHO, W. P.; CARVALHO, G. J.; NETO, D. D. O. A.; TEIXEIRA, L. G. V. Desempenho agrônomico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 2, p. 157-166, 2013.

CASALI, C. A.; TIECHER, T.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R. D.; CALEGARI, A.; PICCIN, R. Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo. In: TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: UFRGS, 2016. p. 23–33.

CIVARDI, E. A.; SILVEIRA NETO, A. N.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R.; BROD, E. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 52-59, 2011.

COLETTA, L. D. **Estudo da fixação biológica do nitrogênio em leguminosas (família Fabaceae) arbóreas tropicais através do enriquecimento isotópico do ¹⁵N**. 2010. 99p. Dissertação de Mestrado – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Safra 2016/17 Décimo Primeiro levantamento**. Brasília: CONAB, 2017. p. 1-164.

COSTA, F. D. S., ALBUQUERQUE, J. A., BAYER, C., FONTOURA, S. M. V., WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas

plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, 2003.

CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; BORGHI, E.; SORATTO, R. P.; MARTINS, P. O. Improving soil fertility and crop yield in a tropical region with palisadegrass cover crops. **Agronomy Journal**, v. 107, p. 2271-2280, 2015.

CRUZ, J. C.; SILVA, G. H.; PEREIRA FILHO, I. A.; GONTIJO NETO, M. M.; MAGALHÃES, P. C. **Sistema de produção de milho Safrinha de alta produtividade: Safras 2008 e 2009**. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2011.10p. (Circular técnica 160).

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S.; BICUDO, S. J.; ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, J. R.; MACHADO, C. G. Nutrição do milho e da *Brachiaria decumbens* cultivado em consórcio em diferentes preparos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 05, p. 733-739, 2008.

CUNHA, E. D. Q.; BALBINO, L. C.; STONE, L. F.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA, G. C. Influência de rotações de culturas nas propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho em plantio direto. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 665-674, 2007.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Cultural practices during the soybean off-season for the control of *Pratylenchus brachyurus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 10, p. 1720-1728, 2016.

DIEZ, J. A.; POLO, A.; CERRI, C. C.; ANDREUX, F. Influência do pousio e da pastagem sobre a dinâmica de nutrientes em oxissolos recentemente desflorestados na Amazônia Oriental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 1, p. 77-83, 1991.

DOURADO NETO, D.; FAVARIN, J. L.; MANFRON, P. A.; PILAU, F. A.; SOARES, M. A.; BONNECARRERE, R. A. G.; OHSE, S. Efeito de boro e nitrogênio na cultura do milho. **Insula**, v. 1, p. 51-67, 2004.

DUDA, G. P.; GUERRA, J. G. M.; MONTEIRO, M. T.; DE-POLLI, H.; TEIXEIRA, M. G. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. **Scientia Agrícola**, v. 60, n. 1, p. 139-147, 2003.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologia de produção de soja região central do Brasil**. 2004. 266p. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: 09 jul. 2015.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologia de produção de soja região central do Brasil**. Londrina: Embrapa, 2005. 220p.

Disponível em:

<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54355/1/Sistemas-de-Producao-9.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

FAGAN, E. B.; MEDEIROS, S. L. P.; MANFRON, P. A.; CASAROLI, D.; SIMON, J.; DOURADO NETO, D.; MÜLLER, L. Fisiologia da fixação biológica de nitrogênio em soja – revisão. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguiana, v. 14, n. 1, p. 89-106, 2007.

FARGEIX, C.; GINDRO, K.; WIDMER, F. Soybean (*Glycine max* L.) and bacteroid glyoxylate cycle activities during nodular senescence. **Journal Plant Physiology**, v. 161, p. 183-190, 2004.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9p. (Embrapa Londrina. Circular Técnica, 48).

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p.

FRANCHE, C.; LINDSTRON, K., ELMERICH, C. Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. **Plant and soil**, v. 321, n. 1-2, p. 35-59, 2009.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H. ; CONTE, O. Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 1131-1138, 2015.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H. ; CONTE, O. Soybean performance as affected by desiccation time of *Urochloa ruziziensis* and grazing pressures. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 999-1005, 2014.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. D.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa, 2011. 28p. (Documentos, 327).

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; 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.

FOO, E.; YONEYAMA, K.; HUGILL, C. J.; QUITTENDEN, L. J.; REID, J. B. Strigolactones and the regulation of pea symbioses in response to nitrate and phosphate deficiency. **Molecular Plant**, v. 6, n. 1, p. 76-87, 2013.

FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in Sao Paulo state, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 42, p. 189-198, 2012.

FUENTES, M.; GOVAERTS, B.; DE LEÓN, F.; HIDALGO, C.; DENDOOVEN, L.; SAYRE, K. D.; ETCHEVERS, J. Fourteen years of applying zero and conventional

tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. **European Journal of Agronomy**, v. 30, n. 3, p. 228-237, 2009.

GARCIA, G.; SANTOS, O. A. M.; CARDOSO, A. A. Da escassez ao estresse do planeta: um século de mudanças no ciclo do nitrogênio. **Química Nova**, v. 36, n. 9, p. 1468-1476, 2013.

GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; VOLL, E.; VARGAS, L.; KARAM, D.; MATALLO, M. B.; CERDEIRA, A. L.; FORNAROLI, D. A.; OSIPE, R.; SPENGLER, A. N.; ZOIA, L. Interferência da buva em áreas cultivadas com soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCPD, 2010a. 1 CD-ROM.

GAZOLA, D.; ZUCARELI, C.; SILVA, R. R.; FONSECA, I. C. D. B. Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, 2014.

GIBSON, A. H.; HARPER, J. E. Nitrate effect on nodulation of soybean by *Bradyrhizobium japonicum*. **Crop Science**, v. 25, n. 3, p. 497-501, 1985.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa-Soja, 2011. 68p. (Documentos, 319)

HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-Serviço de Produção e Informação, 1994. 542p.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C.; GRAHAM, P. H. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* L. Merr.) in South America. **Nitrogen nutrition in plant productivity**, p. 43-93, 2006a.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C.; GRAHAM, P. H. **Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: EMBRAPA, 2001. 48p.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; CRISPINO, C. C.; MORAES, J. Z.; SIBALDELLI, R. N. R.; MENDES, I. C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, n. 4, p. 927-939, 2006b.

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? In: DE BRUIJN, F. **Biological Nitrogen Fixation**. Hoboken: Wiley-Blackwell, p. 1009-1024.

JIAQIANG, E.; LIU, T.; YANG, W. M.; LI, J.; GONG, J.; DENG, Y. Effects of fatty acid methyl esters proportion on combustion and emission characteristics of a biodiesel fueled diesel engine. **Energy Conversion and Management**, v. 117, p. 410-419, 2016.

KASCHUK, G.; NOGUEIRA, M. A.; DE LUCA, M. J.; HUNGRIA, M. Response of determinate and indeterminate soybean cultivars to basal and topdressing N

fertilization compared to sole inoculation with Bradyrhizobium. **Field Crops Research**, v. 195, p. 21-27, 2016.

KHALIL, K.; MARY, B.; RENAULT, P. Nitrous oxide production by nitrification and denitrification in soil aggregates as affected by O₂ concentration. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 36, n. 4, p. 687-699, 2004.

KING, C. A.; PURCELL, L. C. Inhibition of N₂ fixation in soybean is associated with elevated ureides and amino acids. **Plant Physiology**, v. 137, n. 4, p. 1389-1396, 2005.

KINUGASA, T.; SATO, T.; OIKAWA, S.; HIROSE, T. Demand and supply of N in seed production of soybean (*Glycine max*) at different N fertilization levels after flowering. **Journal of plant research**, v. 125, n. 2, p. 275-281, 2012.

KLIEMANN, J. H.; BRAZ, A. J. P. B.; SILVEIRA, P. M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho distroférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. **Implantação, condução e resultados obtidos com o Sistema Santa Fé**. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 407-441.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P. Clima e solo. In: CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 42p.

LIMA, S. F.; ALVAREZ, R. D. C. F.; CONTARDI, L. M. Influência do espaçamento entre linhas em características fitotécnicas e acúmulo de massa seca de híbridos de milho. **AMBIÊNCIA**, v. 12, n. 4, p. 1027-1039, 2016.

LIMA, S. F.; TIMOSSI, P. C.; ALMEIDA, D. P.; SILVA, U. R. Weed suppression in the formation of brachiarias under three sowing methods. **Planta Daninha**, v. 32, n. 4, p. 699-707, 2014.

LIU, Y. Y.; WU, L. H.; BADDELEY, J. A.; WATSON, C. A. Models of biological nitrogen fixation of legumes. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 31, p. 155-172, 2010.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A. ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1269-1276, 2011.

MCWILLIAMS, D. A.; BERGLUND, D. R.; ENDRES, G. J. **Soybean growth and management quick guide**. Fargo: North Dakota State University - NDSU Extension Service and University of Minnesota, 1999. 1174p.

MELILLO, J. M.; ABER, J. D.; MURATORE, J. F. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. **Ecology**, v. 63, p. 621-626, 1982.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; HUNGRIA, M.; SOUSA, D. M. G.; CAMPO, R. J. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1053-1060, 2008.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5 ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.

MEOTTI, G.V.; BENIN, G.; SILVA, R.R.; BECHE, E.; MUNARO, L.B. Épocas de semeadura e desempenho agrônômico de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 14-21, 2012.

MINCHIN, F. R.; WITTY, J. F. Respiratory/carbon costs of symbiotic nitrogen fixation in legumes. **Plant respiration**, p. 195-205, 2005.

MORAES, P. V. D.; AGOSTINETTO, D.; PANOZZO, L. E.; OLIVEIRA, C.; KLEINICK VIGNOLO, G.; MARKUS, C. Manejo de plantas de cobertura no controle de plantas daninhas e desempenho produtivo da cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 497-508, 2013.

MOREIRA, S. G.; LUPP, R. M.; DE LIMA, C. G.; MARUCCI, R. C.; RESENDE, Á. V.; BORGES, I. D. Massa seca e macronutrientes acumulados em plantas de milho cultivadas sob diferentes espécies de cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 2, p. 218-231, 2014.

MOREIRA, F. M. S.; SILVA, M. F.; FARIA, S. M. Occurrence of nodulation in legume species in the Amazon region of Brazil. **New Phytologist**, London, p. 563-570, 1992.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MUMBACH, G. L.; KOTOWSKI, I. E.; ANDRES SCHNEIDER, F. J.; STOLBEN MALLMANN, M.; BILIBIO BONFADA, É.; ORTAÇA PORTELA, V.; KAISER, D. R. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, 2017.

PARENTE, T. L.; LAZARINI, E.; CAIONI, S.; SOUZA L. G. M.; PIVETTA, R. S.; BOSSOLANI, J. W. Potássio em cobertura no milho e efeito residual na soja em sucessão. **Revista Agro@mbiente on-line**, v. 10, n. 3, p. 193-200, 2016.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, v. 38, p. 358-364, 2008.

PEREIRA, M. W. G.; ARÊDES, A. F.; TEIXEIRA, E. C. Avaliação econômica do cultivo de trigo dos Estados do Rio Grande do Sul e Paraná. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 5, n. 4, 2015.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 137-144, 2005.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. **Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2013.

SALDANHA, G. S. **Evaporação de água do solo na fase inicial desenvolvimento das culturas do milho e soja**. 2009. 116f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

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

SANDINI, I. E.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; NEUMANN, M.; FALBO, M. K.; NOVAKOWISKI, J. H. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 8, p. 1315-1322, 2011.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; PIRES, J. L. F.; FONTANELI, R. S.; BIAZUS, V.; VERDI, A. C.; VARGAS, A. M. Rendimento de grãos e características agrônômicas de soja em função de pastagens perenes em sistema de plantio direto. **Bragantia**, v. 73, n. 3, p. 319-326, 2014.

SATURNO, D. F.; CERZINI, P.; MOREIRA, P. D. S.; OLIVEIRA, A. B. D.; OLIVEIRA, M. C. N. D.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Mineral Nitrogen Impairs the Biological Nitrogen Fixation in Soybean of Determinate and Indeterminate Growth Types. **Journal of Plant Nutrition**, p. 1-12, 2017.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Mecenas, 2009. p. 7-16.

SIGNOR, D.; CERRI, C. E. P. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 3, n. 43, p. 322-338, 2013.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; ESPINAL, F. S. C.; TRIVELIN, P. C. O. Utilização do nitrogênio da palha de milho e de adubos verdes pela cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32. 2008.

SILVEIRA, P. M.; RAVA, C. A. **Utilização de Crotalária no Controle de Nematoides da Raiz do Feijoeiro**. Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 2 p. (Comunicado técnico, 74).

SMITH, R. G.; GROSS, K. L.; ROBERTSON, G. P. Effects of crop diversity on agroecosystem function: crop yield response. **Ecosystems**, v. 11, p. 355-366, 2008.

SNYDER, C. S.; BRUULSEMA, T. W.; JENSEN, T. L.; FIXEN, P. E. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 133, n. 3-4, p. 247-266, 2009.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIN, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 34-43, 2013.

SOUZA, J. A.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ANDREOTTI, M.; SÁ, M. E.; ARF, O. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plantio direto. **Bragantia**, v. 70, p. 447-454, 2011.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 215-252.

STEPHENS, B. D.; NEYRA, C. A. Nitrate and nitrite reduction in relation to nitrogenase activity in soybean nodules and *Rhizobium japonicum* bacteroids. **Plant Physiology**, v. 71, n. 4, p. 731-735, 1983.

TA, C. T.; WEILAND, R. T. Nitrogen partitioning in maize during ear development. **Crop Science**, v. 32, n. 2, p. 443-451, 1992.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. DIVAN JUNIOR, A. M. et al. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TANAKA, K. S. **Aplicação de nitrogênio em forrageiras e produção da cultura da soja em sucessão no sistema plantio direto**. 2015. vii, 48 p. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2015.

TEODORO, P. E.; SILVA JUNIOR, C. A.; RIBEIRO, L. P.; SILVA, F. A.; CORRÊA, C. C. G.; ZANUNCIO, A. S.; TORRES, F. E. Sample dimension for estimation of biomass and yield of sunn (*Crotalaria juncea* L.) and showy rattlebox (*C. spectabilis* Roth.). **Journal of Agronomy**, v. 14, n. 2, p. 98, 2015.

TING, C. L. Genetic studies on the wild and cultivated soybeans. **Journal of the American Society of Agronomy**, v.38, p. 381-398, 1946.

THOMSON, A. J.; GIANNOPOULOS, G.; PRETTY, J.; BAGGS, E. M.; RICHARDSON, D. J. Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions. **Philosophical Transactions of The Royal Society Biological Sciences**, v. 367, n. 1593, p. 1157-1168, 2012.

URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. Fertilización nitrogenada em sistemas de producción agrícola. In: URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. **Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe**. Porto Alegre: Gênese; Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 2000. p. 77-88.

United States Department of Agriculture – USDA. **Foreign Agricultural Service**. World corn production, consumption, and stocks. Acesso em 15/08/2017. Disponível em: <<https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>>.

VERNETTI, F.J.; VERNETTI JUNIOR, F.J. **Genética da soja: caracteres qualitativos e diversidade genética**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 221p.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; CANTARELLA, H.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; TRIVELIN, M.O.; TOALIARI, J.G. Mineralização da palhada e desenvolvimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2757-2762, 2008.

WERNER, F.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FERREIRA, A. S.; SILVA, M. A. D. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Soybean growth affected by seeding rate and mineral nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 734-738, 2016.

WILLIAMS, L. E.; MILLER, A. J. Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. **Annual review of plant biology**, v. 52, n. 1, p. 659-688, 2001.

WOLI, K. P.; RAKSHITB, S.; LUNDVALLC, J. P.; SAWYERA, J. E.; BARKERA, D. W. Liquid swine manure application to soybean and residual-year nitrogen supply to corn. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 55, p. 1684-1695, 2013.

YAMASHITA, O. M.; GUIMARÃES, S. C. Emergência de plântulas de *Conyza canadensis* e *Conyza bonzariensis* em solo coberto com palha da cultura de milho. **Evidência-Interdisciplinar**, v. 15, n. 2, p. 141-152, 2016.

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 hiberna na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 374-382, 2015.

ZILLI, J. E.; CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. Eficácia da inoculação de *Bradyrhizobium* em pré-semeadura da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 335-338, 2010.

4 ARTIGO A: CULTURAS DE ENTRESSAFRA E ADUBAÇÃO NITROGENADA MINERAL NA SOJA SOBRE A DINÂMICA DE N NO SOLO

RESUMO

A soja (*Glycine max*) é cultivada no Brasil sob sistema plantio direto e com diversificação de espécies na entressafra, como a braquiária (*Urochloa ruziziensis*), a crotalária (*Crotalaria spectabilis*), o milho (*Zea mays*) e o trigo (*Triticum aestivum*). Essas culturas impactam na qualidade do solo devido à cobertura vegetal e à ciclagem de nutrientes. Especialmente sobre palhadas de culturas graníferas, alguns agricultores têm optado em utilizar fertilizantes com nitrogênio (N) na semeadura da soja. Questiona-se então sobre o efeito da interação de cultivos de entressafra e adubação nitrogenada na soja sobre a dinâmica de N no solo. O objetivo foi avaliar a influência de culturas de entressafra e da adubação nitrogenada na soja, na dinâmica de nitrogênio do solo. O experimento foi realizado em delineamento experimental de blocos completos casualizados, com cinco repetições, em esquema de parcelas subdivididas. Nas parcelas foram avaliadas seis culturas de entressafra: pousio, braquiária, crotalária, milho segunda safra com 0 e 80 kg de N ha⁻¹ em cobertura e trigo, sem N em cobertura. Nas subparcelas foram avaliados dois níveis de N (0 e 30 kg ha⁻¹) na implantação da soja cultivar indeterminada BRS 1010 IPRO. Foram coletadas amostras de solo na camada de 0,0-0,1 m, nas subparcelas, avaliando-se os teores de N-nitrato, N-amônio e N-total. As culturas de entressafra influenciam os teores de N-nitrato, N-amônio e N-total do solo. O milho segunda safra com N em cobertura conferiu maiores valores de N-nitrato, até o mês de setembro. Adubação nitrogenada na soja com 30 kg de N ha⁻¹ incrementou nos teores de N-nitrato do solo, somente nos primeiros 30 dias após a semeadura, coincidindo com o estágio V3-V4.

Palavras-chave: N-nitrato, N-amônio, N-total, pousio, plantas de cobertura.

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max*) has been cultivated in Brasil under no-tillage system and species diversification in off-season, Brachiaria (*Urochloa ruziziensis*), *Crotalaria spectabilis*, Maize (*Zea mays*) and Wheat (*Triticum aestivum*). These crops impact on soil quality due to crop cover residues and nutrient cycle. Especially on grain producer crops, some farmers have adopted the use nitrogen (N) fertilizers in soybean sowing. Some doubts about the effect of the interaction of off-season crops and N fertilization on soybean on soil N dynamics. The aim of this study was to evaluate the influence of off-season crops and N fertilization on soybean and soil N dynamics. The experiment was carried out in a randomized complete block design, in a split plots scheme with five replications. In the plots were evaluated six off-season crops: fallow, brachiaria, crotalaria, maize second crop with 0 and 80 kg of N ha⁻¹ in cover and wheat, without N in cover. In the split plots two levels of N (0 and 30 kg ha⁻¹) were evaluated in the implantation of the indeterminate cultivar soybean BRS 1010 IPRO. Soil samples were collected in the 0.0-0.1 m layer, in the split plots, evaluating N-nitrate, N-ammonium and N-total contents. The second season maize with N in topdressing, leads to higher values in N-nitrate, until September. The N fertilization on soybean with 30 kg of N ha⁻¹ provides higher values of N-nitrate of soil, in the first 30 days after sown, coinciding with V3-V4.

Keywords: *Crotalaria spectabilis*, *Triticum aestivum*, *Urochloa ruziziensis*, fallow, *Zea mays*.

4.1 Introdução

A soja cultivada sob sistema plantio direto (SPD) pode atingir elevados tetos produtivos, principalmente a partir dos benefícios obtidos com a diversificação de culturas na entressafra, que impactam na qualidade do solo (ALMEIDA et al., 2008; FRANCHINI et al., 2012; BRANCALIÃO, et al., 2015). Além de promoverem aumento na produtividade das culturas subsequentes, bem como incrementos nos lucros e na segurança alimentar, o uso de culturas de entressafra também contribuí para a preservação dos recursos naturais e do ambiente (PITTELKOW et al., 2014; RADICETTI et al., 2017).

Segundo Dieckow et al., (2005), as culturas de entressafra fornecem cobertura vegetal e auxiliam na manutenção da matéria orgânica, adicionando carbono (C) e nitrogênio (N) ao solo. Além disso plantas de cobertura atuam na absorção de nutrientes de camadas profundas, liberando-os em superfície a partir da decomposição da palhada (DUDA et al., 2003; ZIECH et al., 2015). Uma das vantagens das plantas de cobertura está sua capacidade em absorver o N-inorgânico do solo durante o período de entressafra e disponibiliza-lo para a cultura subsequente, após seu manejo (RADICETTI et al., 2017), o que caracteriza uma ciclagem de nutrientes pelos restos vegetais.

Dentre as formas de N encontradas no solo, o N-orgânico é uma que não está prontamente disponível para as plantas, apesar de perfazer uma proporção de até 98% do N-total (URQUIAGA; ZAPATA, 2000). Enquanto que o N-nitrato (N-NO_3^-) e o N-amônio (N-NH_4^+), são formas de N-inorgânico que encontram-se disponíveis as plantas (D'ANDREA et al., 2004). Por isso, lavouras de alto desempenho, devem contar com outras fontes de N, como a fertilização com N-mineral ou fixação biológica de nitrogênio (FBN).

A FBN tem capacidade de suprir até 94% da demanda de N na cultura da soja, sendo eficiente quando a nodulação está bem estabelecida (HUNGRIA et al., 2006). A mineralização de N-inorgânico do solo e a cobertura vegetal prejudicam a FBN, pois a nodulação e a reação nitrogenase acabam sendo interrompidos na presença de N-NO_3^- , por ser uma fonte menos custosa para a planta que a FBN (FOO et a., 2013). Outra prática que afeta negativamente a FBN é a fertilização com N-mineral (KINUGASA et al., 2012).

Diversos produtores têm adotado o uso de doses menores, como por exemplo 30 kg de N ha⁻¹ de N-mineral na soja. Essa fertilização favorece o crescimento inicial da cultura, o que garante uma vantagem competitiva contra as plantas daninhas ou ao excesso de cobertura vegetal (MENDES et al., 2008; FRANCHINI et al., 2015, HUNGRIA; MENDES, 2015, WERNER et al., 2016). Porém, segundo estes autores, tais doses não refletem em incremento de produtividade, sendo uma prática economicamente dispensável (SALVAGIOTTI et al., 2008), além de provocar lixiviação de nitrato e contaminação de águas subterrâneas (TEIXEIRA et al., 2016), bem como a contaminação da atmosfera através da emissão de óxido nitroso.

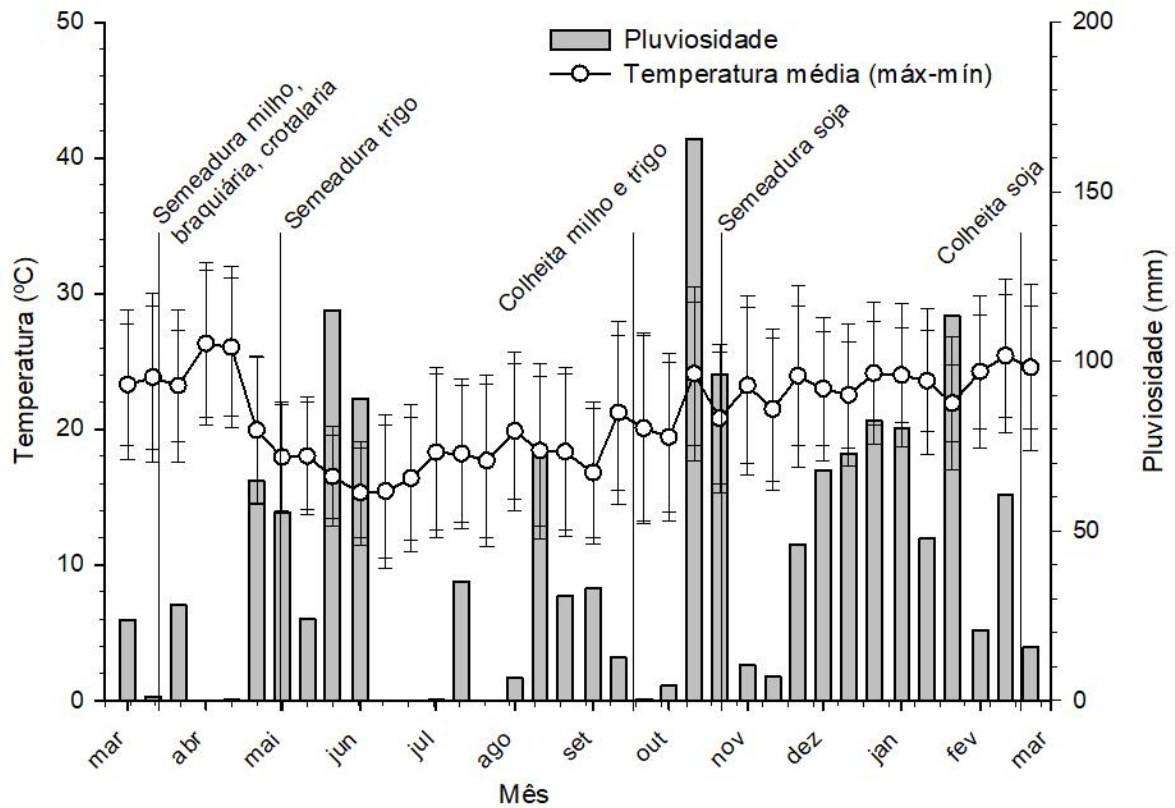
O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das culturas de entressafra e da adubação nitrogenada com N mineral na implantação da soja sobre a dinâmica de nitrogênio do solo.

4.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido de março de 2016 a março de 2017 na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, Londrina, PR (23°11'37"S 51°11'03"W, com altitude de 630 m). O clima conforme Köppen é classificado como subtropical (Cfa) e os dados de precipitação pluvial e temperatura do período experimental, obtidos em estação meteorológica a 500 metros de distância das parcelas, são apresentados na figura 1.

O solo da área experimental foi identificado como Latossolo Vermelho distroférrico (SANTOS et al., 2013) com os seguintes atributos físicos e químicos analisados na camada de 0-20 cm: 710, 82 e 208 g kg⁻¹, de argila, silte e areia, C (Walkley Black) – 17,76 g dm⁻³; pH em CaCl₂ 5,07; H⁺ + Al³⁺(SMP) – 5,15 cmol_c dm⁻³; K⁺ (Mehlich - 1) – 0,85 cmol_c dm⁻³; P (Mehlich - 1) – 36,95 mg dm⁻³; Ca²⁺(KCl)– 1,52 cmol_c dm⁻³ e Mg²⁺(KCl) – 1,52 cmol_c dm⁻³. A cobertura vegetal anterior na área foi milheto (*Pennisetum glaucum* L.), manejada 15 dias antes da semeadura das espécies de entressafra, com glyphosate (1.080 g ha⁻¹) e carfentrazone-ethyl (30 g ha⁻¹). Foram aplicadas 2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico em março de 2016.

Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura média do ar, com máximas e mínimas, durante o período experimental - março de 2016 a março de 2017, obtidos da estação meteorológica da Embrapa. Londrina-PR, 2017.



Fonte: o próprio autor.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em parcelas subdividas com cinco repetições. Nas parcelas (5,0 x 8,0 m), foram dispostas seis formas de uso do solo na entressafra: 1- pousio, 2 -braquiária (*Urochloa ruziziensis*), 3- crotalaria (*Crotalaria spectabilis*), 4 - milho segunda safra com 0 kg de N ha⁻¹ em cobertura, 5- milho segunda safra com 80 kg de N ha⁻¹ em cobertura e 6- trigo (*Triticum aestivum*) sem adubação nitrogenada de cobertura. Nas subparcelas (2,5 x 8,0 m), foi semeada a soja em sucessão às culturas de outono/inverno, implantada com dois níveis de N (0 e 30 kg de N ha⁻¹) na forma de nitrato de amônio (34% de N), aplicados na sementeira.

A sementeira das culturas do milho, braquiária e crotalaria foram realizadas em 11 de março de 2016 e o trigo em 27 de abril de 2016. O milho (híbrido AG 9010 YG) foi semeado com espaçamento entre linhas de 0,90 m e 6 sementes m⁻¹ (66.666 plantas por hectare). A braquiária, a crotalaria e o trigo (cultivar BRS

Gralha Azul) foram semeados em espaçamento de 0,17 m, com 50, 40 e 60 sementes viáveis por m^{-1} , respectivamente. A adubação de base para o milho e o trigo foi de 260 e 300 $kg\ ha^{-1}$, respectivamente, de fertilizante NPK 08-28-16. Na braquiária e crotalária não foi feita adubação de base ou cobertura. A fonte de N em cobertura utilizada para o milho 2º safra foi a ureia (45% N), aplicada quando o milho apresentava seis folhas expandidas. O milho e o trigo foram colhidos no dia 15 de setembro de 2016. A área total foi dessecada em 13 de outubro de 2016, com glyphosate ($1.080\ g\ ha^{-1}$).

A soja, cultivar indeterminada BRS 1010 IPRO, foi semeada no dia 16 outubro de 2016, em espaçamento de 0,45 m e densidade de 16 sementes viáveis m^{-1} . As sementes foram tratadas com Standak Top® (1 mL kg^{-1} de sementes) e inoculante líquido Gelfix 5® contendo *Bradyrhizobium elkanii* (2 mL kg^{-1} de sementes). Foram utilizados 350 $kg\ ha^{-1}$ do adubo formulado 0-20-20. O controle de doenças, insetos-praga e plantas daninhas foi efetuado conforme as recomendações técnicas para a cultura.

As amostragens de solo foram realizadas em intervalos de 10 dias, do final de maio de 2016 até meados de fevereiro de 2017, totalizando 27 coletas. Na área útil da parcela e subparcela, com uso de trado calador, foram tomadas duas subamostras na linha e três na entrelinha, na camada de 0,0-0,1 m, sendo estas misturadas e homogeneizadas, constituindo uma amostra composta por subparcelas. No momento da coleta, o material orgânico presente na superfície foi retirado manualmente. As amostras foram armazenadas em freezer a $-4^{\circ}C$, até o momento da análise.

Nas amostras de solo, foram determinados os teores de $N-NO_3^-$ e $N-NH_4^+$ por meio da extração por sulfato de potássio ($0,5\ mol\ L^{-1}$). O $N-NO_3^-$ e $N-NH_4^+$ foram determinados por colorimetria em espectrofotômetro (SEARLE, 1984), modelo Lambda-25 UV-Vis. Os teores de $N-NO_3^-$ respondem na faixa de 220 nm (CATALDO et al., 1975) e correção de 275 nm (OLSEN, 2008) e, o $N-NH_4^+$ em 697 nm (MITCHELL, 1972). A determinação de N-total foi a partir da digestão com ácido sulfúrico e destilação a vapor (método Kjeldahl) com hidróxido de sódio, coletando-se o destilado em solução contendo indicador ácido bórico e, a titulação foi realizada com ácido sulfúrico $0,025\ mol\ L^{-1}$.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wytk) e homocedasticidade (Hartley), sem transformação. Aplicou-se análise de variância

e teste F ($p \leq 0,05$) e, quando constatado efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas por teste de Tukey, separadamente para cada época de avaliação ($p < 0,05$).

4.3 Resultados e discussão

Em junho de 2016 ocorreu geada que afetou todas as plantas da área experimental, que em maior intensidade resultou na senescência das plantas de crotalária. Desse modo a massa da parte aérea desta espécie foi decomposta e, em outubro mês da implantação da cultura da soja, a palha de crotalária já não era perceptível na superfície do solo.

Durante o período de cultivo das culturas de entressafra os teores de nitrato (N-NO_3^-) variaram menos que os teores de amônio (N-NH_4^+). O N-NO_3^- variou de 2 a 26 mg kg^{-1} solo, enquanto que a amplitude do N-NH_4^+ variou de 1 a 27 mg kg^{-1} solo (Figura 2). O N-total variou entre 20 e 75 mg kg^{-1} de solo, apresentando comportamento semelhante aos teores de N-NO_3^- e N-NH_4^+ entre as coletas (Figura 2).

Conforme observado na figura 2 A, de modo geral, na segunda coleta próxima a maio, ocorreu o maior valor nos teores de N-NO_3^- no solo. Na terceira coleta, o milho com N resultou maior teor que a braquiária (Tabela 2), isso pode estar relacionado à proximidade do evento da aplicação de N no milho, o qual foi em uma dose de 80 kg de N ha^{-1} na forma de ureia em cobertura. Efeito positivo da aplicação de N em cobertura no milho sobre os teores de N-NO_3^- no solo foi observado ao longo das coletas 3, 5, 10, 11 e 14, em que os teores para esse tratamento foram superiores aos demais (Figura 2 A). Reduções nos teores de N-NO_3^- durante os períodos de maio à junho e agosto a setembro, podem estar relacionados à elevada ocorrência de precipitações pluviais (Figura 1), que causam a lixiviação do íon N-NO_3^- (SILVA et al., 2005). Aliado à isso, a maioria das cargas dos coloides do solo é predominantemente negativa em solos corrigidos, o que causa repulsão às cargas aniônicas na solução do solo (CRUSCIOL et al., 2011) e percolação, acompanhando o movimento descendente da água (FAGERIA et al. 2011). Já entre os meses de junho e agosto, com menor precipitação pluvial, o teor de N-NO_3^- se manteve constante entre as coletas, sem variações entre as culturas de entressafra (Figura 2 A).

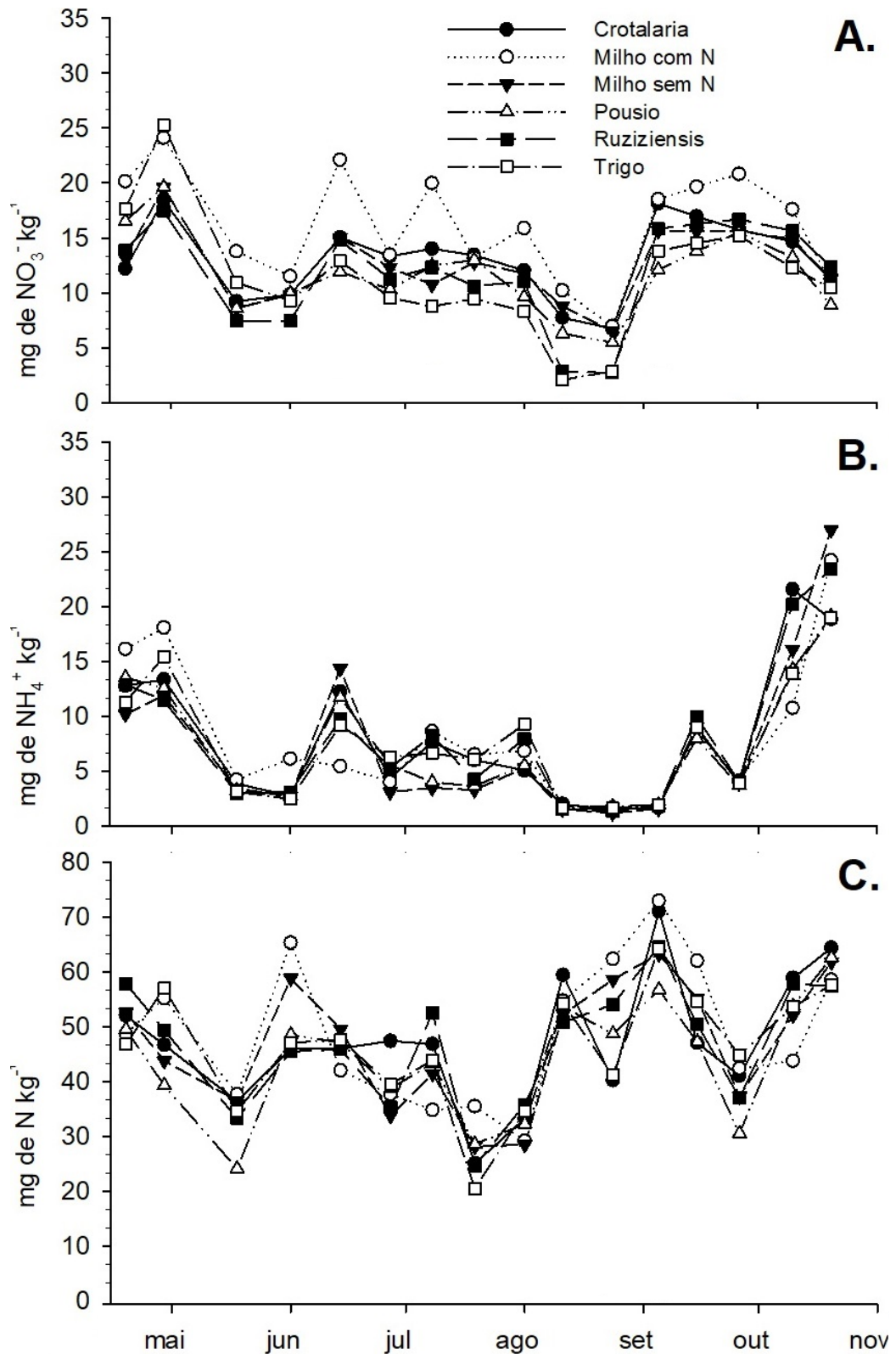
Tabela 2. Médias dos teores de N-nitrato (N-NO₃⁻), N-amônio (N-NH₄⁺) e N-total, de 16 coletas em intervalos decendiais de abril de 2016 a outubro de 2016. Em área com seis tratamentos de entressafra da soja. Londrina-PR, 2017.

N-NO ₃ ⁻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Braquiária	13,9	17,4	7,4b	7,4	14,8ab	11,2	12,3	10,6	11,0	2,8b	2,7b	15,8	16,3	16,7ab	15,6	12,3
Crotalária	12,2	18,4	9,2ab	9,8	15,0ab	13,3	14,0	13,4	12,0	7,7ab	6,7ab	18,1	16,9	15,8ab	14,7	11,2
Milho 0 N	13,2	19,6	8,6ab	9,8	15,0ab	12,3	10,7	12,8	11,8	8,8a	6,5ab	15,6	15,6	15,6ab	14,9	11,3
Milho 80 N	20,1	24,1	13,8a	11,5	22,1a	13,4	20,0	13,2	15,9	10,2a	6,9a	18,5	19,7	20,8a	17,6	10,9
Pousio	16,5	19,6	8,6ab	9,9	11,9b	10,3	12,4	13,0	9,6	6,3ab	5,4ab	12,1	13,8	15,5b	13,2	8,9
Trigo	17,6	25,2	10,9ab	9,3	12,9b	9,6	8,7	9,4	8,3	2,1b	2,8b	13,8	14,5	15,2b	12,3	10,4
CV(%)	35,4	16,6	31,3	20,0	26,3	29,4	42,7	21,7	38,6	47,5	39,5	50,6	23,8	16,1	19,4	25,9
N-NH ₄ ⁺	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Braquiária	12,9	11,5	3,0b	3,1	9,7	5,3	8,2	4,3	8,0	1,5	1,3	1,8	10,0	4,1	20,2	23,4
Crotalária	12,8	13,4	3,9ab	2,7	9,6	4,4	7,6	6,0	5,1	2,0	1,5	1,7	8,8	4,1	21,6	18,9
Milho 0 N	10,2	11,9	3,4ab	2,7	11,0	3,1	3,5	3,3	5,3	1,5	1,2	1,6	9,0	3,9	16,1	27,0
Milho 80 N	16,1	18,1	4,2a	6,1	5,5	4,0	8,6	6,5	6,8	1,6	1,7	1,9	8,4	4,1	10,8	24,2
Pousio	13,6	12,6	3,2b	2,7	11,7	5,6	4,0	3,7	5,5	1,8	1,8	2,0	8,0	3,7	14,3	19,1
Trigo	11,3	15,4	3,1b	2,5	9,1	6,3	6,6	6,1	9,3	1,6	1,7	1,9	9,0	3,9	13,9	19,0
CV(%)	31,0	32,6	14,0	67,6	47,2	70,7	53,9	72,3	39,6	28,8	44,2	39,0	18,3	14,8	55,1	35,3
N-Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Braquiária	57,8	49,4	33,3	45,5	45,8	35,3	52,5	24,6	35,8	50,8	54,0	64,5	50,4	37,0	57,7	57,5
Crotalária	52,0	46,6	36,5	45,9	46,0	47,4	46,8	25,1	33,2	59,4	40,2	71,0	47,0	41,1	58,9	64,4
Milho 0 N	52,6	43,7	36,5	58,8	49,5	33,8	41,4	28,2	28,5	52,2	58,6	63,2	55,2	37,3	52,1	61,8
Milho 80 N	48,6	55,2	37,6	65,3	42,0	37,6	34,8	35,5	29,1	54,7	62,3	72,9	62,0	42,4	43,8	58,5
Pousio	49,5	39,3	24,1	48,5	47,1	38,7	43,3	28,6	32,2	53,6	48,7	56,7	47,2	30,5	53,7	62,6
Trigo	46,8	57,0	34,5	47,1	47,6	39,5	43,8	20,4	34,6	54,3	41,2	64,2	54,6	44,8	53,7	57,5
CV(%)	20,3	25,7	24,1	35,2	23,1	39,7	32,2	37,1	28,1	32,1	35,3	30,7	24,1	35,2	18,0	16,6

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem e ns=não significativo, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Fonte: o próprio autor.

Figura 2. Teores de N-nitrato (NO_3^-) (A.), N-amônio (NH_4^+) (B.) e N-total (C.) de 16 coletas, em intervalos decendiais, de abril de 2016 a outubro de 2016, em diferentes culturas de entressafra da soja. Londrina-PR, 2017.



Fonte: o próprio autor.

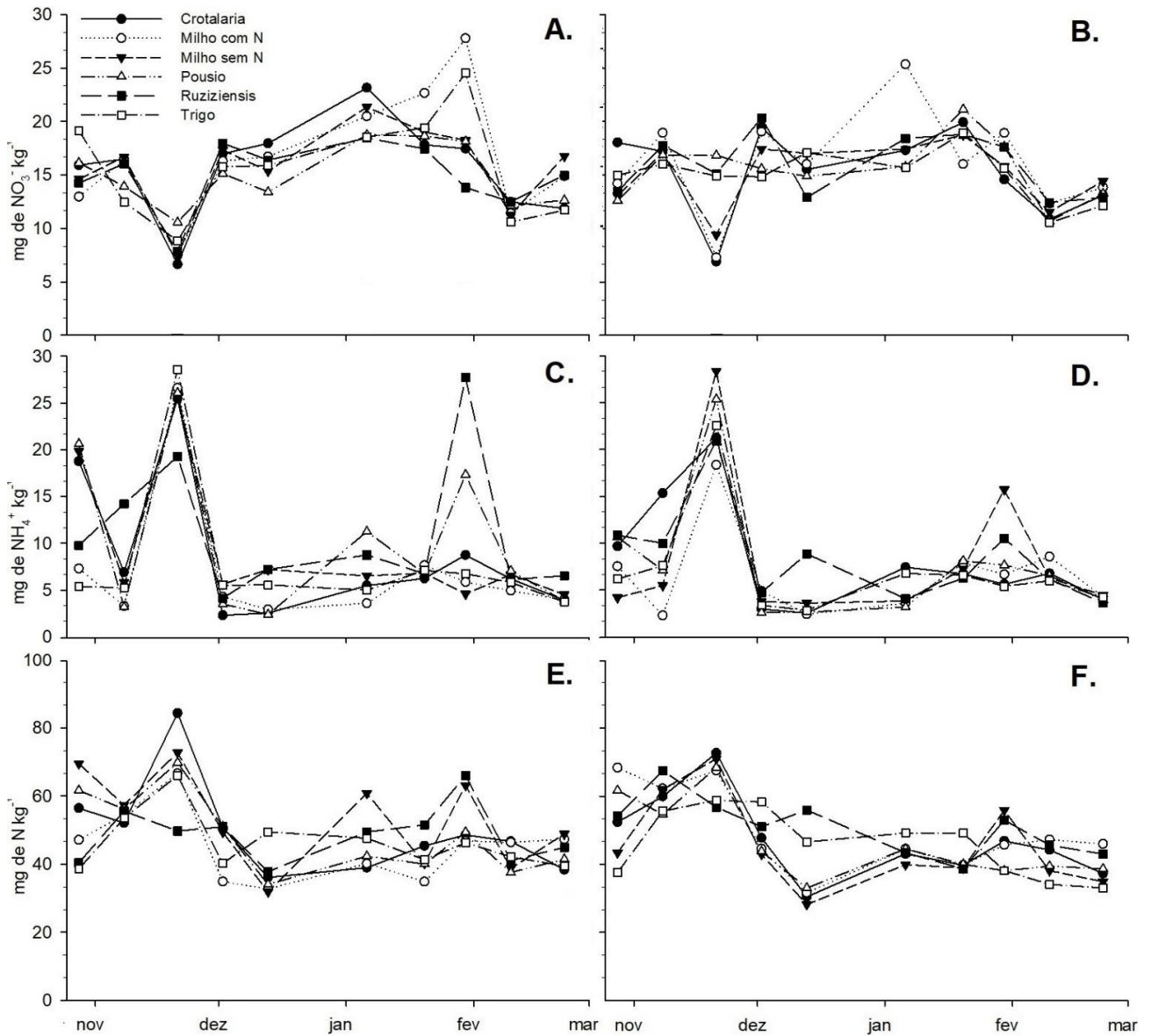
Com relação ao N-NH_4^+ , maiores teores foram obtidos em novembro, nas coletas 15 e 16 (Figura 2 B), coincidindo com o decêndio de novembro que ocorreu maior precipitação pluvial (Figura 1). Na terceira coleta, o milho com N resultou em valores superiores à braquiária, pousio e trigo (Tabela 2), fato esse relacionado à proximidade da aplicação de ureia no tratamento, corroborando com Geisseler e Scow (2014), os quais observaram aumento na concentração de N-amoniaco no solo, após aplicação de ureia. Segundo Stark et al. (2007) e Roberts et al., (2011), após aplicação de ureia, em até dez dias ocorrem impactos na microbiota do solo, assim os teores N-NH_4^+ podem variar em função do aumento da biomassa microbiana em geral. Assim, a intensificação da amonificação pode ter ocorrido, levando ao aumento dos teores de N-NH_4^+ entre junho e julho. Com a nitrificação houve decréscimo dos teores de N-NH_4^+ entre meados de agosto e setembro (Figura 2 B), o que justifica a elevação no teores de N-NO_3^- (Figura 2 A).

Os menores teores de N-NO_3^- do solo sob a braquiaria, ao longo das coletas, podem estar associados a capacidade da planta em sintetizar inibidores biológicos da nitrificação, denominados de brachiolactona (SUBBARAO, et al. 2007). A brachialoctonas agem diretamente sob a atividade das enzimas nitrificantes responsáveis por transformar o N-NH_4^+ em N-NO_3^- no solo (SUBBARAO, et al. 2009). Assim a produção e liberação destes compostos pelas raízes da braquiaria, está diretamente relacionada à presença de maior quantidade de N-NH_4^+ na solução do solo (SUBBARAO, et al. 2015), forma de N que sofre menos lixiviação que o N-NO_3^- (SILVA et al., 2005).

O N-total do solo (Figura 2 C; Tabela 2) não variou entre as coletas, o que demonstra que não é afetado pelas culturas de entressafra, diferente do observado por Weber e Mielniczuk (2009), que obtiveram com plantas leguminosas, principalmente, incrementos no estoque de N do solo. A dinâmica de N-total não foi influenciada pelos eventos de pós colheita das culturas do milho e trigo (Figura 1 e 2), que ocorreram em meados de setembro.

Durante o cultivo da soja em sucessão às culturas de entressafra, entre os meses de novembro a março, o N-NO_3^- variou de 6 a 27 mg kg^{-1} , enquanto o N-NH_4^+ de 2 a 27 mg kg^{-1} e o N-total entre 25 e 85 mg kg^{-1} (Figura 3). Não houve interação entre as culturas de entressafra e adubação nitrogenada na soja (Tabela 3).

Figura 3. Teores de N-nitrato (N-NO_3^-) em área sem N na soja (A.) e com N na soja (B.); N-amônio (N-NH_4^+) em área sem N na soja (C.) e com N na soja (D.); N-total em área sem N na soja (E.) e com N na soja (F.) de 10 coletas de outubro de 2016 a março de 2017. Em área com seis tratamentos de entressafra da soja e adubação nitrogenada. Londrina-PR, 2017.



Fonte: O próprio autor.

No final de outubro houve elevada precipitação pluviométrica e em novembro uma estiagem (Figura 1), como consequência, em novembro houve redução súbita de N-NO_3^- e aumento do N-NH_4^+ . Koper et al., (2010) observaram que altas concentrações de amônio, resultam na redução da taxa de nitrificação no solo, semelhante a adubação com formulados (HE et al., 2007), levando a menores teores de N-NO_3^- . Souza et al., 2009 constataram que a anaerobiose causada pelo aumento da umidade no solo favorece a desnitrificação, corroborando com os

resultados encontrados no presente estudo para o período (Figura 1). Há redução no teor de $N-NH_4^+$ (Figura 3 C e D) em dezembro, que pode ter sido imobilizado pelos microrganismos ou absorvido pela própria cultura (RADICETTI et al., 2017).

Tabela 3. Médias dos teores de N-nitrato ($N-NO_3^-$), N-amônio ($N-NH_4^+$) e N-total, de 10 coletas de outubro de 2016 a março. Em área com seis tratamentos de entressafra da soja e adubação nitrogenada. Londrina-PR, 2017.

$N-NO_3^-$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Braquiária	13,9	16,9	11,5	19,2	14,7	18,5	18,1	15,7	12,5	13,9ab
Crotalária	17,0	16,9	6,8	18,2	16,7	20,2	18,9	16,0	11,7	12,5ab
Milho 0 N	13,8	16,9	8,5	17,4	16,2	19,4	18,9	17,0	11,4	15,6a
Milho 80 N	13,6	17,7	7,4	17,7	16,4	22,9	19,3	23,3	11,9	14,4ab
Pousio	14,4	15,4	13,7	15,4	14,2	15,3	19,9	17,9	11,4	12,9ab
Trigo	17,1	14,3	11,9	15,3	16,5	17,1	19,2	20,1	10,6	11,9b
CV(%)	41	17	85	17	15	31	22	35	18	17
Soja 0 N	15,5	15,3b	8,2b	16,6	16,0	19,5	19,2	20,0	11,7	13,8
Soja 30 N	14,4	17,3a	11,8a	17,8	15,6	18,3	18,9	16,7	11,4	13,3
CV(%)	45	15	67	16	20	43	17	34	13	18
Interação	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
$N-NH_4^+$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Braquiária	10,3	12,1	20,1	4,4	8,0	4,8	6,5	9,9	6,1	5,1
Crotalária	14,2	11,1	23,9	2,6	2,6	5,5	6,5	8,0	6,5	3,9
Milho 0 N	12,7	5,4	27,1	4,7	3,2	4,4	7,0	6,2	6,4	4,5
Milho 80 N	8,4	2,8	22,9	4,6	2,6	3,6	7,8	6,3	6,7	4,1
Pousio	15,6	5,6	25,7	3,1	2,5	5,1	7,4	11,6	6,8	3,9
Trigo	5,8	6,4	25,6	4,4	4,2	4,7	6,9	6,1	5,9	4,0
CV(%)	95	104	34	63	128	73	19	80	27	37
Soja 0 N	13,2	6,6	25,5	4,2	3,9	5,0	6,9	8,8	6,1	4,4
Soja 30 N	9,2	7,9	22,9	3,7	3,8	4,4	7,1	7,2	6,7	4,1
CV(%)	70	82	28	50	59	62	24	43	27	47
Interação	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N-Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Braquiária	47,3	61,5	53,2	51,0	46,8ab	46,4	45,1	59,5	43,4	43,9
Crotalária	54,4	56,0	78,5	49,2	33,3ab	41,0	42,5	47,7	45,5	37,9
Milho 0 N	56,4	59,6	71,9	46,2	30,0b	50,3	39,6	59,5	38,4	41,9
Milho 80 N	57,8	58,4	67,1	39,7	32,2ab	42,3	37,3	46,3	46,8	46,6
Pousio	61,7	55,4	69,1	47,4	33,5ab	43,4	40,0	43,8	38,5	40,0
Trigo	38,1	54,6	62,4	49,3	48a	48,4	45,2	42,2	38,1	36,2
CV(%)	41	28	36	28	33	39	34	46	25	34
Soja 0 N	52,3	54,9	68,2	46,2	37,0	46,6	42,2	53,4	42,1	43,4
Soja 30 N	52,9	60,3	65,8	48,0	37,6	44,1	41,0	46,3	41,5	38,8
CV(%)	34	25	23	19	17	26	26	43	28	25
Interação	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem nas colunas e maiúsculas nas linhas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Fonte: o próprio autor.

Em meados de fevereiro, após decréscimo nos teores de $N-NO_3^-$, observa-se incremento no $N-NH_4^+$ enquanto que o N-total manteve-se estável

(Figura 3). A aplicação de fertilizantes nitrogenados não influencia na diversidade da microbiota funcional do solo, em sistema com rotação de culturas (ROBERTS et al., 2011). Assim, devido à baixa variação da diversidade microbiana no solo, não houveram diferenças para a dinâmica do N entre a área de soja com e sem N.

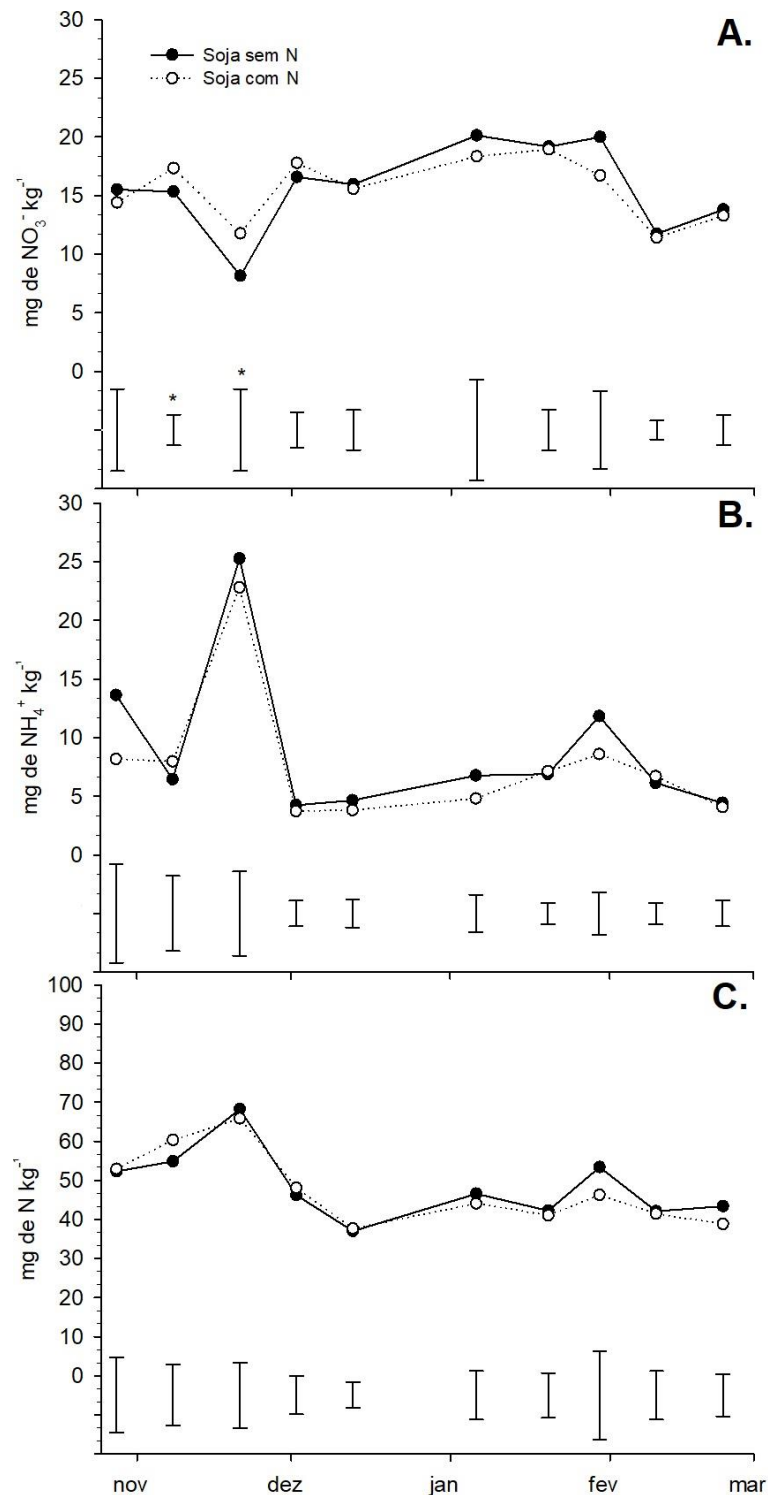
A cobertura vegetal na superfície do solo aumenta a eficiência na absorção do N pelas culturas e reduz a lixiviação do N-NO_3^- , e a taxa de mineralização dos resíduos é mais lenta, devido ao contato reduzido entre resíduos e microrganismos do solo (RADICETTI et al., 2016). Assim evitando perdas no conteúdo de N-NO_3^- no solo, como a perda por lixiviação, ou o seu estoque foi renovado pela mineralização dos resíduos vegetais.

Na última coleta, no final de fevereiro, próximo a colheita da soja, os teores de N-NO_3^- foram menores nos tratamentos com trigo e maiores no milho sem N na entressafra (Tabela 3). Os teores de N-NH_4^+ não variaram entre as culturas de entressafra e adubação nitrogenada. Estes valores observados podem estar associados ao material senescente da soja no final de ciclo, principalmente folhas, decompondo sob o solo. A soja, por sua baixa relação C/N, libera quantidades significativas de N mineral durante a fase de senescência e posterior decomposição, tanto de nódulos e outros exsudatos de raízes e pelos resíduos de parte aérea (YANG; CAI, 2005), o que ameniza a influência das variáveis.

Na coleta 21, após dezembro, o trigo resultou em maior teor de N-total no solo que o milho sem N (Tabela 3). Conforme Wisniewski e Holtz (1997), mesmo com mineralização lenta em palhadas de alta relação C/N, ocorre o retorno de N ao solo pelos restos culturais, podendo ser aproveitado pelas culturas subsequentes, fato esse que é comprovado pelos maiores teores de N total no solo, na área cultivada com trigo.

Houveram diferenças significativas entre a soja com N e sem N, em meados de novembro, em que a soja com N incrementou no teor de N-NO_3^- (Figura 4 A). A adubação nitrogenada na semeadura da soja com N, resultou em maiores teores de N-NO_3^- nas coletas 18 e 19 (Figura 3; Tabela 3). Koper et al. (2010) observaram que a adição de baixas concentrações de amônio incrementam as taxas de nitrificação, assim resultando em maiores teores de nitrato, conforme o observado no presente estudo. Os teores de N-NH_4^+ e N-total do solo, não foram influenciados pela adubação nitrogenada na soja (Tabela 3).

Figura 4. Teores de N-nitrato (N-NO_3^-) (A.), N-amônio (N-NH_4^+) (B.) e N-total (C.) de 10 coletas de outubro de 2016 a março de 2017. Em área com seis tratamentos de entressafra e adubação nitrogenada na soja. Londrina-PR, 2017.



Barras verticais indicam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5%. * Indica diferença significativa entre as culturas de entressafra.

Fonte: o próprio autor.

4.4 Conclusões

O milho segunda safra com N em cobertura conferiu maiores valores de N-nitrato, até o mês de setembro.

Adução nitrogenada na soja com 30 kg de N ha⁻¹ incrementou nos teores de N-nitrato do solo, somente nos primeiros 30 dias após a semeadura, coincidindo com o estágio V3-V4.

4.5 Referências

ALMEIDA, V. P. D.; ALVES, M. C.; SILVA, E. C. D.; OLIVEIRA, S. A. D. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1227-1237, 2008.

BRANCALIÃO, S. R.; EIRA AGUIAR, A. T.; BRANCALIÃO, E. M.; LIMONTA, C. R.; ROSSI, C. E.; CRISTOVÃO, N. N.; Produtividade e composição dos grãos de soja em rotação com culturas de cobertura após o aporte de nitrogênio. **Nucleus**, v. 12, p. 69-76, 2015.

CATALDO, D. A.; MAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 6, p. 71-80, 1975.

CRUSCIOL, C. A. C.; GARCIA, R. A.; CASTRO, G. S. A.; ROSOLEM, C. A. Nitrate role in basic cation leaching under no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1975-1984, 2011.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Carbon and nitrogen storage, and inorganic nitrogen forms in a soil under different management systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 179-186, 2004.

DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil and Tillage Research**, v. 81, n. 1, p. 87-95, 2005.

DUDA, G. P.; GUERRA, J. G. M.; MONTEIRO, M. T.; DE-POLLI, H.; TEIXEIRA, M. G. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 1, p. 139-147, 2003.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. Boca Raton: CRC Press, 2011.

FOO, E.; YONEYAMA, K.; HUGILL, C. J.; QUITTENDEN, L. J.; REID, J. B. Strigolactones and the regulation of pea symbioses in response to nitrate and phosphate deficiency. **Molecular Plant**, v. 6, n. 1, p. 76-87, 2013.

FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; 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.

FRANCHINI, J.C.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; DEBIASI, H. ; CONTE, O. Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 1131-1138, 2015.

GEISSELER, D.; SCOW, K. M. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms—A review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 75, p. 54-63, 2014.

HE, J.; SHEN, J.; ZHANG, L.; ZHU, Y.; ZHENG, Y.; XU, M.; DI, H. Quantitative analyses of the abundance and composition of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea of a Chinese upland red soil under long-term fertilization practices. **Environmental Microbiology**, v. 9, p. 2364-2374, 2007.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C.; GRAHAM, P. H. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* L. Merr.) in South America. **Nitrogen nutrition in plant productivity**, p. 43-93, 2006.

HUNGRIA, M; MENDES, I. C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? In: DE BRUIJN, F. **Biological Nitrogen Fixation**. Hoboken: Wiley-Blackwell p. 1009-1024.

KINUGASA, T.; SATO, T.; OIKAWA, S.; HIROSE, T. Demand and supply of N in seed production of soybean (*Glycine max*) at different N fertilization levels after flowering. **Journal of plant research**, v. 125, n. 2, p. 275-281, 2012.

KOPER, T. E.; STARK, J. M.; HABTESELASSIE, M. Y.; NORTON, J. M. Nitrification exhibits Haldane kinetics in an agricultural soil treated with ammonium sulfate or dairy-waste compost. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 74, p. 316-322, 2010.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; HUNGRIA, M.; SOUSA, D. M. G.; CAMPO, R. J. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1053-1060, 2008.

MITCHELL, H. T. Microdetermination of nitrogen in plant tissues. **Journal of Association Official Agriculture**, v.55, p.1-3. 1972.

OLSEN, K. K. Multiple wavelength ultraviolet determinations of nitrate concentration, method comparisons from the preakness brook monitoring project, October 2005 to October 2006. **Water, air, and soil pollution**, v. 187, p. 195-202, 2008.

PITTELKOW, C. M.; LIANG, X.; LINQUIST, B. A.; VAN GROENIGEN, K. J.; LEE, J.; LUNDY, M. E.; VAN GESTEL, N.; SIX, J.; VENTEREA, R. T.; VAN KESSEL, C.

Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. **Nature**, v. 517, n. 7534, p. 365, 2015.

RADICETTI, E.; CAMPIGLIA, E.; MARUCCI, A.; MANCINELLI, R. How winter cover crops and tillage intensities affect nitrogen availability in eggplant. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 108, n. 2, p. 177-194, 2017.

RADICETTI, E.; MANCINELLI, R.; MOSCETTI, R.; CAMPIGLIA, E. Management of winter cover crop residues under different tillage conditions affects nitrogen utilization efficiency and yield of eggplant (*Solanum melanogena* L.) in Mediterranean environment. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 329-338, 2016.

ROBERTS, B. A.; FRITSCHI, F.B.; HORWATH, W.R.; SCOW, K.M.; RAINS, W.D.; TRAVIS, R.L. Comparisons of soil microbial communities influenced by soil texture, nitrogen fertility, and rotations. **Soil Science**, v. 176, p. 487-494, 2011.

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

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. DOS; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 306p.

SEARLE, P. L. The Berthelot or indophenol reaction and its use in the analytical chemistry of nitrogen. **Analyst**, v. 109, p. 549–568, 1984.

SILVA, E. C.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 353-362, 2005.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. D. F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, 2009.

STARK, C.; CONDRON, L.M.; STEWART, A.; DI, H.J.; O'CALLAGHAN, M. Influence of organic and mineral amendments. **Applied Soil Ecology**, v. 35, p. 79-93, 2007.

SUBBARAO, G. V.; ISHIKAWA, T.; NAKAHARA, K.; ITO, O.; RONDON, M.; RAO, I. M.; LASCANO, C. Characterization of biological nitrification inhibition (BNI) capacity in *Brachiaria humidicola*. **JIRCAS Working Report**, v. 51, p. 99-106, 2007.

SUBBARAO, G. V.; NAKAHARA, K.; HURTADO, M. P.; ONO, H.; MORETA, D. E.; SALCEDO, A. F.; YOSHIHASHI, A. T.; ISHIKAWA, T.; ISHITANI, M.; OHNISHI-KAMEYAMA, M.; YOSHIDA, M.; RONDON, M.; RAO, I. M.; LASCANO, C. E.; BERRY, W. L.; ITO, O. Evidence for biological nitrification inhibition in *brachiaria* pastures. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 41, p. 17302-17307, 2009.

SUBBARAO, G. V.; YOSHIHASHI, T.; WORTHINGTON, M.; NAKAHARA, K.; ANDO Y.; SAHRAWAT K. L.; RAO, I. M.; LATA, J. C.; KISHII, M.; BRAUN, H. J. Suppression of soil nitrification by plants. **Plant Science**, v. 233, p. 155-164, 2015.

TEIXEIRA, E. I.; JOHNSTONE, P.; CHAKWIZIRA, E.; RUITER, J. D.; MALCOLM, B.; SHAW, N.; ZYSKOWSKI, R.; KHAEMBAH, E.; SHARP, J.; MEENKEN, E.; FRASER, P.; THOMAS, S.; BROWN, H.; CURTIN, D. Sources of variability in the effectiveness of winter cover crops for mitigating N leaching. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 220, p. 226-235, 2016.

URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. Fertilización nitrogenada em sistemas de produção agrícola. In: URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. **Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe**. Porto Alegre: Gênese; Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 2000. p. 77-88.

WEBER, M. A.; MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 33, n. 2, p. 429-437, 2009.

WERNER, F.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FERREIRA, A. S.; SILVA, M. A. D. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Soybean growth affected by seeding rate and mineral nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 734-738, 2016.

WISNIEWSKI, C.; HOLTZ, G.P. Decomposição da palhada e liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 11, p. 1191-1197, 1997.

YANG, L.; CAI, Z. The effect of growing soybean (*Glycine max* L.) on N₂O emission from soil. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 37, n. 6, p. 1205-1209, 2005.

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 hiberna na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 374-382, 2015.

5 ARTIGO B: CULTURAS DE ENTRESSAFRA E ADUBAÇÃO NITROGENADA NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA

RESUMO

Nas últimas décadas houve aumento expressivo da sucessão soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*) segunda safra nas regiões tropicais do Brasil. Contudo, há outras opções de cultivo na entressafra da soja, como o trigo (*Triticum aestivum*) e espécies para cobertura do solo. Adicionalmente, em algumas regiões é comum a manutenção das áreas agrícolas em pousio no período de entressafra. Na literatura há carência de informações sobre o impacto das culturas de entressafra sobre a disponibilização de nitrogênio e o crescimento da soja em sucessão, bem como sobre a sua interação com a adubação nitrogenada na soja no desempenho da cultura. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de culturas de entressafra e da adubação nitrogenada sobre o crescimento, a nodulação, os componentes de rendimento e a produtividade de grãos da soja. O experimento foi realizado em delineamento experimental de blocos completos casualizados, com cinco repetições, em esquema de parcelas subdivididas. Nas parcelas foram avaliadas seis culturas de entressafra: pousio, braquiária (*Urochloa ruziziensis*), crotalária (*Crotalaria spectabilis*), milho segunda safra com 0 e 80 kg de N ha⁻¹ em cobertura e trigo sem N em cobertura. Nas subparcelas foram avaliados dois níveis de N na implantação da soja (cultivar BRS 1010 IPRO): 0 e 30 kg ha⁻¹. Foram avaliadas a massa seca da cobertura vegetal das culturas de entressafra, índice SPAD e índice de área foliar (IAF) nas plantas de soja, nodulação, componentes de rendimento e produtividade de grãos. O trigo resultou em menor IAF e SPAD da soja até a fase de formação das vagens. A soja que recebeu N conferiu maior IAF e SPAD até a fase de formação das vagens, porém a adubação nitrogenada reduz o número e a massa seca de nódulos, sem influenciar o teor dos ureídeos. O milho com N incrementou a massa de mil grãos da soja. As culturas de entressafra e a adubação nitrogenada na soja não influenciam a produtividade de grãos da soja.

Palavras-chave: *Crotalaria spectabilis*, *Glycine max* L., *Urochloa ruziziensis*, *Zea mays*, espécies de outono/inverno.

ABSTRACT

In the last decade the succession with soybean (*Glycine max*) and second season maize (*Zea mays*) has been growth in Brasil tropical regions. However, other options in the soybean off-season cultivation than maize, such as wheat (*Triticum aestivum*) and cover crops species for soil. Moreover, in some regions is common to maintain agricultural areas under fallow in the off-season season. These different soil uses can affect the nitrogen (N) availability for soybean on the beginning of the development cycle. A lack of information in the literature over the soil uses impact in the off-season over soybean sowed in succession and the interaction with N fertilization in soybean over the crop performance. The aim of this study has to evaluate the off-season crop effects and N fertilization over the growth, nodulation, yield components and grain yield. The experiment was carried out in a complete block design with split-plot scheme and five replications. In the plots six off-season crops: fallow, brachiaria (*Urochloa ruziziensis*), crotalaria (*Crotalaria spectabilis*), second season maize with 0 and 80 kg N ha⁻¹ in topdressing and wheat without N in topdressing. In the split-plots were evaluated two N levels in the soybean sowing (BRS 1010 IPRO): 0 and 30 kg ha⁻¹. The dry mass of off-season crops plant cover, SPAD index and leaf area index in the soybean plants, nodulation, yield components and yield grain. Wheat results in a lower LAI and SPAD until pod development. The soybean with N provide higher LAI and SPAD until pod development and lower nodule number and nodule dry matter, but has no influence in ureides. Maize with N increases the mass of thousand grains. Offseason crops and N fertilization on soybean has no effect in soybean grain yield.

Keywords: *Crotalaria spectabilis*, Fallow, *Urochloa ruziziensis*, *Triticum aestivum*, *Zea mays*, autumn/winter crops.

5.1 Introdução

A qualidade do solo e a estabilidade de produção das culturas em sistema de plantio direto são influenciadas pela diversificação de espécies que compõem o sistema de produção (SPD) (ALMEIDA et al., 2008; FRANCHINI et al., 2012; BRANCALIÃO, et al., 2015). No Brasil, em diversas regiões é comum o pousio na entressafra da soja (*Glycine max*), aumentando a degradação do solo e a infestação de plantas daninhas de difícil controle (BALBINOT JUNIOR et al., 2008; CARVALHO et al., 2013; MORAES et al., 2013). Nesse caso, as culturas semeadas após o período de pousio podem apresentar menor produtividade em relação à semeadura após outras culturas, sejam comerciais ou para cobertura do solo (FUENTES et al., 2009; MORAES et al., 2013; BALBINOT JUNIOR et al., 2017).

Sobretudo no Paraná e Rio Grande do Sul, as principais culturas de entressafra da soja são o milho (*Zea mays*) cultivado na segunda safra e o trigo (*Triticum aestivum*), que contribuem no acúmulo de cobertura vegetal no SPD (BALBINOT JUNIOR et al. 2011; FRANCHINI et al., 2012). Especialmente na última década houve aumento expressivo do uso da sucessão soja/milho segunda safra. De forma geral, recomenda-se a aplicação de N mineral no milho segunda safra (PAVINATO et al., 2008) a fim de aumentar a produtividade e a rentabilidade da cultura. Por outro lado, nas últimas safras muitos produtores têm optado em suprimir a adubação nitrogenada no milho a fim de reduzir custos e o risco inerente à atividade, baseado na baixa resposta do milho à essa prática, frente a fatores climáticos desfavoráveis. No entanto, um fato desconsiderado é o efeito da adubação nitrogenada no milho segunda safra sobre a soja em sucessão. De acordo com Camara (2014), a aplicação de fertilizantes de N mineral em culturas de entressafra da soja influenciam positivamente na produtividade da oleaginosa, em função da redução da relação C/N da palhada e consequente disponibilização de nutrientes à soja semeada em sucessão.

Além disso, espécies para cobertura como a braquiária (*Urochloa ruziziensis*) (LOSS et al., 2011) e a crotalária (*Crotalaria spectabilis*) (CARVALHO et al., 2013) são usadas em regiões com pouca incidência de geadas, objetivando maior conservação do solo e da água, melhoria da qualidade do solo e aumento da cobertura do solo para cultivo de primavera/verão em sucessão. Ainda, o cultivo de

espécies para cobertura do solo no outono/inverno contribuí positivamente em vários atributos físicos do solo (BALBINOT JUNIOR et al., 2011).

Outra vantagem com o cultivo de leguminosas na entressafra da soja, é o aumento nos estoques de N-inorgânico no solo, especialmente N-nitrato (SMITH et al., 2008). Em geral, a soja tem preferência em absorver o N-inorgânico do solo em detrimento da fixação biológica do N (FBN), por ter menor custo energético (LIU et al., 2010). Quando a nodulação é eficiente, a FBN elimina a necessidade de fertilizantes nitrogenados minerais na soja, por suprir a exigência desse nutriente, juntamente com o N oriundo do solo (MUGENDI et al., 2010). Nesse caso a produtividade de grãos de soja com nodulação eficiente foi equivalente à utilização de 200 kg de N mineral ha⁻¹ (BARBARO et al., 2009; ZILLI et al., 2010). Por outro lado, no meio técnico há questionamentos constantes sobre o possível impacto positivo da adubação nitrogenada mineral na implantação da soja, quando esta é semeada sobre palhada de espécies de gramíneas, que apresentam alta relação C/N. Ou seja, é necessário elucidar possíveis efeitos da interação entre a adubação nitrogenada mineral na implantação da soja e espécies cultivadas antecedendo a soja sobre o desempenho da oleaginosa. Esse é um conhecimento que possui elevada aplicação prática na cadeia produtiva da soja.

Em teoria, uma alternativa prática e de baixo custo para acelerar o crescimento da soja cultivada em sucessão à gramíneas é a aplicação de N na semeadura. Estudos mostram que aplicação de 30 kg de N ha⁻¹ aumentam o crescimento da cultura nas fases iniciais, porém sem incrementos na produtividade de grãos (MENDES et al., 2008; FRANCHINI et al., 2015b, HUNGRIA; MENDES, 2015, WERNER et al., 2016). Esses trabalhos já fornecem indícios de que, mesmo na presença de alta quantidade de palha com alta relação C/N, a adubação nitrogenada mineral na implantação da soja pode ser dispensável.

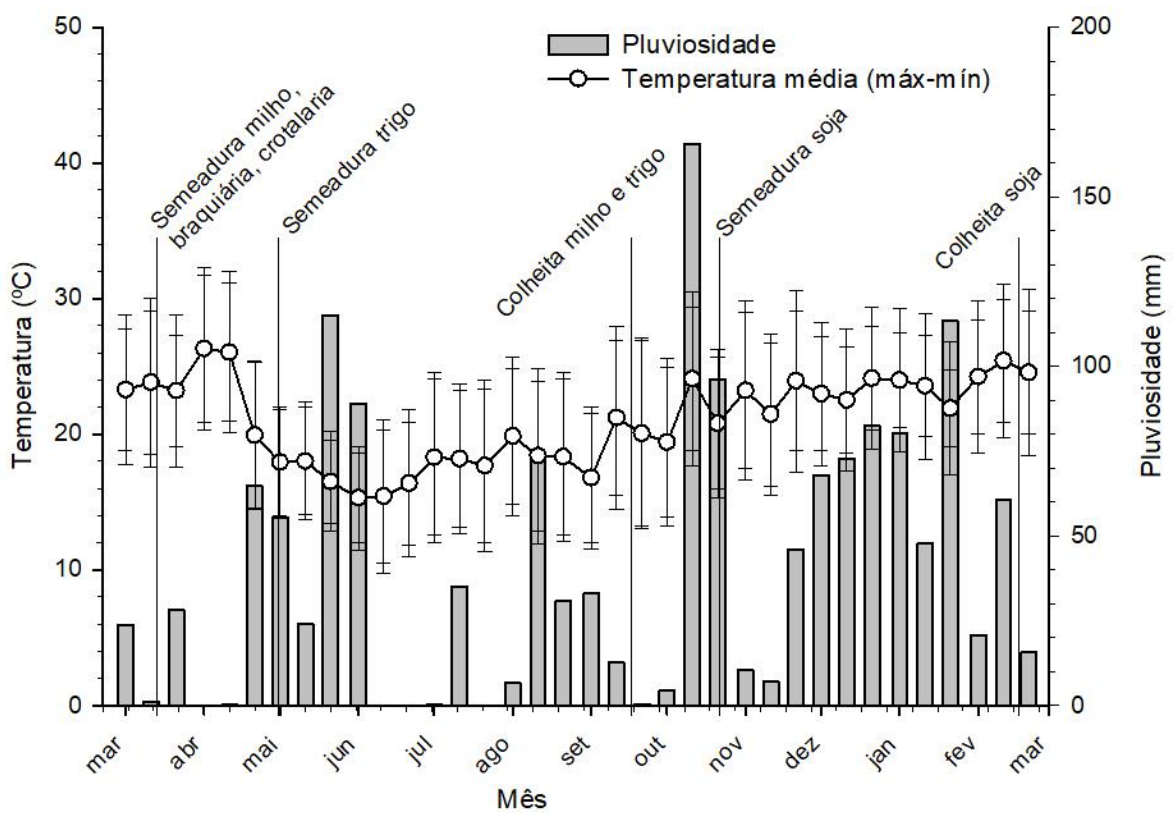
O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de culturas de entressafra e da adubação nitrogenada sobre o crescimento, a nodulação, os componentes de rendimento e a produtividade de grãos da soja.

5.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido de março de 2016 a março de 2017 na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, Londrina, PR (23°11'37"S 51°11'03"W,

com altitude de 630 m). O clima é classificado como subtropical (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen e os dados de precipitação pluvial e temperatura do período experimental são apresentados na figura 1, obtidos em estação meteorológica a 500 metros de distância das parcelas.

Figura 1. Precipitação pluvial e temperatura média do ar, com máximas e mínimas, durante o período experimental - março de 2016 a março de 2017, obtidos da estação meteorológica da Embrapa. Londrina-PR, 2017.



Fonte: o próprio autor.

O solo da área experimental, segundo o sistema brasileiro de classificação de solos, é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (SANTOS et al., 2013) com os seguintes atributos físicos e químicos analisados na camada de 0-20 cm: 710 g de argila kg^{-1} , 82 g de silte kg^{-1} e 208 g de areia kg^{-1} , C (Walkley Black) – 17,76 g dm^{-3} ; pH em CaCl_2 5,07; $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ (SMP) – 5,15 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; K^+ (Mehlich - 1) – 0,85 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; P (Mehlich - 1) – 36,95 mg dm^{-3} ; Ca^{2+} (KCl)–

1,52 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e Mg^{2+} (KCl) – 1,52 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Foram aplicadas 2 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico em março de 2016.

A cobertura vegetal anterior na área foi milheto (*Pennisetum glaucum* L.), manejada 15 dias antes da semeadura das culturas de entressafra, com glyphosate (1.080 g ha^{-1} de i.a) e carfentrazone-ethyl (30 g ha^{-1} de i.a).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e cinco repetições. Nas parcelas (5,0 x 8,0 m), foram dispostas seis culturas de entressafra: 1- pousio, 2 - braquiária (*Urochloa ruziziensis*), 3 - crotalária (*Crotalaria spectabilis*), 4 - milho segunda safra com 0 kg ha^{-1} de N em cobertura, 5- milho segunda safra com 80 kg ha^{-1} de N em cobertura e 6 - trigo (*Triticum aestivum*) sem adubação nitrogenada de cobertura. Nas subparcelas (2,5 x 8,0 m), a soja semeada em sucessão às culturas de entressafra foi implantada com dois níveis de nitrogênio (0 e 30 kg de N ha^{-1}).

A semeadura das culturas do milho, braquiária e crotalária foi realizada em 11 de março de 2016 e o trigo em 27 de abril de 2016. O milho (híbrido AG 9010 YG) foi semeado com espaçamento entre linhas de 0,90 m com 6 sementes viáveis m^{-1} . A braquiária, a crotalária e o trigo (cultivar BRS Gralha Azul) foram semeados em espaçamento de 0,17 m, com 50, 40 e 60 sementes m^{-1} , respectivamente. A adubação de base para o milho e o trigo foi de 260 e 300 kg ha^{-1} , respectivamente, de fertilizante NPK 08-28-16. Na braquiária e crotalária não foi feita adubação de base ou cobertura. A fonte de N utilizada em cobertura no milho, foi a ureia (45% N), aplicada no estágio V6 (seis folhas expandidas). No trigo não foi realizada adubação nitrogenada de cobertura. O milho e o trigo foram colhidos no dia 15 de setembro de 2016. A área total foi dessecada em 13 de outubro de 2016, com glyphosate (1.080 g ha^{-1} de i.a).

A soja, cultivar BRS 1010 IPRO de crescimento do tipo indeterminado, foi semeada no dia 16 outubro de 2016, espaçada em 0,45 m entre linhas e com densidade de 16 sementes viáveis m^{-1} . As sementes foram tratadas com Standak Top® (1 mL kg^{-1} de sementes) e inoculante líquido Gelfix 5® contendo *Bradyrhizobium elkaniibr* (2 mL kg^{-1} de sementes). Foram utilizados na semeadura 350 kg ha^{-1} do adubo formulado 0:20:20. O nitrogênio foi aplicado, de acordo com o tratamento, na forma de nitrato de amônio (34% de N), a lanço no momento da semeadura. O controle de doenças, insetos-praga e plantas daninhas foi efetuado conforme as recomendações técnicas para a cultura.

A cobertura vegetal, proporcionada pelas culturas de entressafra, foi avaliada com a coleta do material na superfície em 1 m² por parcela, 20 dias antes da semeadura da soja, acondicionado em sacos de papel e seco em estufa a 65 °C até massa constante, com dados extrapolados para kg ha⁻¹ de massa seca.

O índice de área foliar (IAF) foi determinado com um analisador de dossel de plantas LI-COR[®] LAI-2200, com a adoção de cinco posições de leitura, sendo três na linha e duas na entre-linha da área útil da parcela. O índice *Soil Plant Analysis Development* (SPAD) foi avaliado com o clorofilômetro Konica Minolta[®] SPAD 502 plus, o qual possui elevada correlação com o teor relativo de clorofila (SANT'ANA et al., 2010), em dez plantas por subparcela, na terceira folha do ápice para a base nos folíolos centrais. As duas características foram avaliadas nos estádios fenológicos V5, V6, R1, R3, R4, R5.1, R5.3, R5.4, R6 e R7 (FEHR; CAVINESS, 1977; FARIAS et al., 2007).

Coletaram-se cinco planta para obtenção de nódulos e ureídos, no estágio de plena floração (R2), para contagem e avaliação de massa seca, após secarem em estufa a 45 °C até massa constante.

As análises de ureídos (alantoína e ácido alantóico) foram realizadas a partir da maceração de pecíolos com etanol, sendo o extrato armazenado em microtubetes em -15 °C até a análise (VOGELS; VAN DER DRIFT, 1970; HUNGRIA; ARAUJO, 1994). A sequência de reação foi com hidrólise alcalina e ácida, analisado em espectrofotômetro UV-vis (Genesys 10 UV) a 535 nm, após reação com fenilhidrazina e ferrocianeto de potássio. Os dados foram expressos em µg ml⁻¹.

No período anterior a colheita, em R8, foram coletadas dez plantas em sequência, para avaliação das seguintes variáveis: altura da planta (cm) e altura de inserção da primeira vagem (cm); número de vagens por planta; número de grãos por vagem e massa de mil grãos (g) avaliada por meio da pesagem de cem grãos em quatro repetições em balança analítica. A produtividade foi determinada por meio da colheita dos grãos da área útil (1,35 x 6,00 m), extrapolada para kg ha⁻¹ e padronizada para 13% de umidade.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wylk) e homocedasticidade (Hartley) de variâncias. Em seguida aplicou-se a análise de variância e teste F ($p \leq 0,05$). Quando constatado efeito significativo dos tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Foi feita a correlação

linear de Pearson entre a produtividade de grãos da soja, IAF e SPAD em diferentes estádios fenológicos ($p \leq 0,05$).

5.3 Resultados e discussão

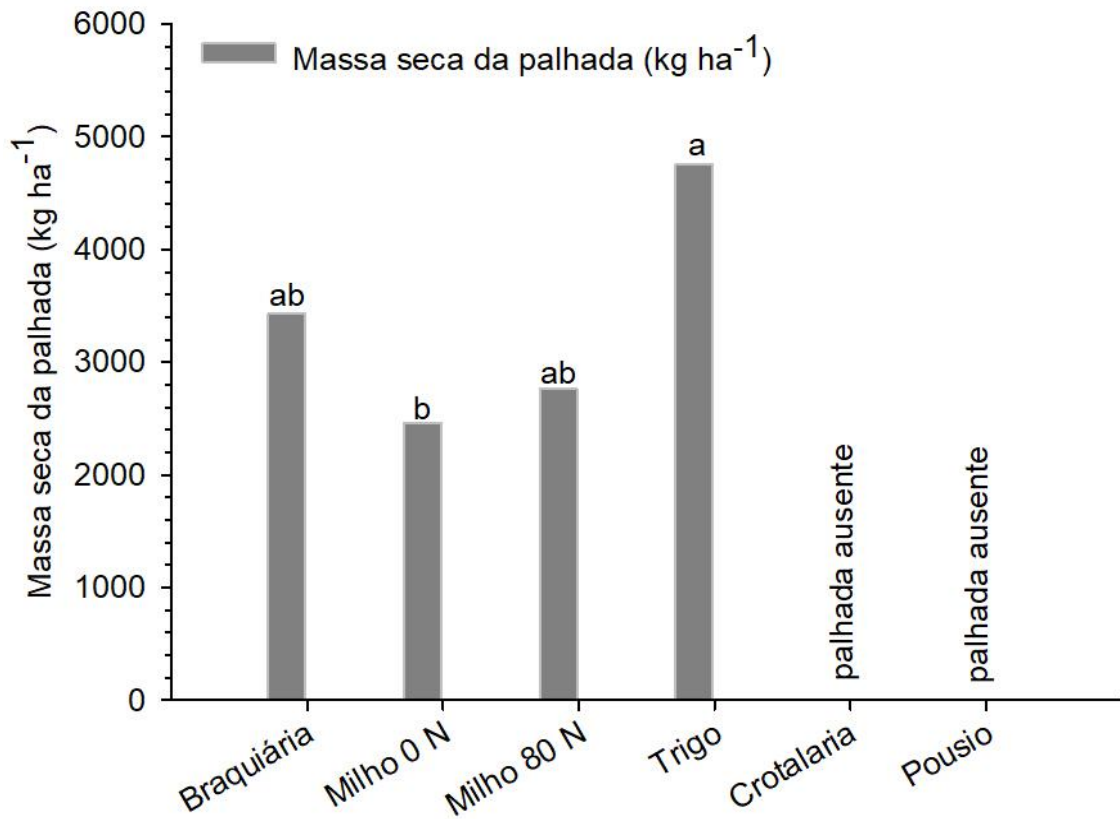
Em junho de 2016 ocorreu geada na área experimental, ocasionando a morte das plantas de crotalária. A massa da parte aérea dessa cultura foi totalmente decomposta até a semeadura da soja, em outubro. Alvarenga et al. (2001) cita que as leguminosas comumente tem relação C/N mais baixa na palhada, o que favorece a rápida decomposição.

O milho cultivado sem N em cobertura acumulou menor quantidade de massa seca que o trigo e não diferenciou das demais culturas de entressafra (Figura 5). Os meses de maio e junho apresentaram temperaturas baixas, o que prejudicou o crescimento das plantas de milho, mas pouco afetou a cultura do trigo. Em função da geada, a quantidade de palha acumulada pela braquiária foi inferior à do trigo, já que houve morte das folhas da braquiária em função do frio, o que não ocorreu no caso do trigo. Alta quantidade de palha, com elevada porcentagem de cobertura do solo é fundamental para a sustentabilidade do Sistema Plantio Direto (SPD), reduz a amplitude térmica do solo, melhora a manutenção hídrica do solo, protege contra a erosão, reduz a incidência de plantas daninhas (BALBINOT JUNIOR et al., 2008; CARVALHO et al., 2013) e melhora o desempenho agrônômico da soja (BALBINOT JUNIOR et al., 2017).

Não houve interação entre as culturas de entressafra e a aplicação de N na implantação da cultura da soja em sucessão para o IAF e índice SPAD da soja, avaliados em dez estádios de desenvolvimento, com exceção para o IAF em R4 (Tabela 4). Em função das doses de 0 e 30 N, a soja após o trigo resultou em menores valores de IAF em R4 que as demais coberturas de inverno. A adubação com N mineral na semeadura incrementou o IAF da soja em sucessão do trigo em relação à ausência de N. As maiores diferenças entre culturas de entressafra e N na soja, sobre o IAF e índice SPAD ocorreram na fase vegetativa da cultura, com destaque para os menores valores observados quando esta foi cultivada em sucessão ao trigo (Figura 6 a, b, c, d). Nas avaliações realizadas em V6, R1 e R3, constataram-se menores valores de índice SPAD na soja cultivada após o trigo em relação às demais culturas de entressafra (Tabela 4). Em R1 o pousio foi inferior ao

milho 80 N, em R3 a crotalária e o milho 80 N foram superiores à braquiária, milho 0 N e o pousio. Após o estágio R4 o índice SPAD foi similar entre as culturas de entressafra avaliadas (Tabela 4).

Figura 5. Massa seca da cobertura vegetal proporcionada pelas culturas de entressafra (kg ha^{-1}), 20 dias anteriores a semeadura da soja. Londrina-PR, 2017.



Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Fonte: o próprio autor.

No estágio V5, o IAF da soja cultivada após o trigo foi inferior à soja cultivada após o milho com N. Nos estágios R1 e R3, a soja cultivada em sucessão ao trigo apresentou menor IAF, comparativamente aos demais tratamentos, que não diferiram entre si. Do estágio R5.1 a R7, o IAF foi similar, independentemente das culturas de entressafra, com exceção de R6, em que a braquiária, o milho com N e o trigo foram superiores ao pousio.

Tabela 4. Médias de *Soil Plant Analysis Development* (SPAD) e índice de área foliar (IAF) da soja durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, em função de culturas de entressafra e da adubação nitrogenada na semeadura da soja. Londrina-PR, 2017.

	<i>Soil plant analysis development</i>									
	V5	V6	R1	R3	R4	R5.1	R5.3	R5.4	R6	R7
Braquiária	41,1	37,1a	39,1ab	38,4bc	36,7	41,1	50,8	49,6	44,9	35,9
Crotalária	40,3	38,3a	39,1ab	41,6a	35,8	42,2	50,7	49,6	46,4	36,7
Milho 0 N	40,8	37,1a	38,3ab	38,9b	36,4	42,1	45,6	48,9	44,7	35,9
Milho 80 N	41,6	38,9a	40,0a	41,7a	36,3	41,9	50,4	49,3	44,8	35,2
Pousio	40,3	36,9a	37,2b	38,7b	34,9	41,4	49,7	49,2	45,3	35,7
Trigo	40,1	32,3b	32,3c	36,4c	35,8	42,0	49,4	49,3	45,93	35,8
CV(%)	3,4	4,4	4,5	3,9	5,8	4,5	11,9	1,7	5,1	10,2
Soja 0 N	39,8b	35,4b	36,2b	38,3b	35,8	41,6	48,3	49,2	45,4	36,0
Soja 30 N	41,6a	38,1a	38,5a	40,3a	36,2	41,9	50,6	49,4	45,3	35,7
CV(%)	3,1	5,1	3,8	4,7	4,4	3,8	12,5	1,3	4,4	11,1
Interação	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

	Índice de área foliar									
	V5	V6	R1	R3	R4	R5.1	R5.3	R5.4	R6	R7
Braquiária	2,3ab	4,0	4,6a	5,7a	7,0	7,9	7,1	6,6	5,8a	3,8
Crotalária	2,3ab	4,1	4,5a	5,8a	7,2	7,7	6,6	6,4	5,7ab	3,4
Milho 0 N	2,2ab	4,0	4,5a	5,6a	7,0	7,6	6,9	6,6	5,5ab	3,6
Milho 80 N	2,6a	4,4	5,1a	6,4a	7,5	7,6	6,9	6,4	5,8a	3,2
Pousio	2,3ab	3,4	4,5a	5,6a	7,0	7,6	6,7	6,5	5,3b	3,7
Trigo	1,7b	3,5	3,0b	4,2b	5,7	7,8	7,1	6,9	5,9a	3,9
CV(%)	22,6	20,0	15,0	14,3	8,0	3,5	5,0	5,9	6,4	22,2
Soja 0 N	2,1	3,6b	4,1b	5,3b	6,6	7,7	6,9	6,6	5,6	3,6
Soja 30 N	2,3	4,2a	4,6a	5,8a	7,2	7,7	6,8	6,5	5,7	3,7
CV(%)	22,5	23,3	8,0	7,5	5,6	3,2	5,0	6,0	8,2	13,8
Interação	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns

	Desdobramento para IAF em R4					
	Braquiária	Crotalária	Milho 0 N	Milho 80 N	Pousio	Trigo
Soja 0 N	6,8Aa	7,1Aa	6,8Aa	7,4Aa	6,8Aa	5,0Bb
Soja 30 N	7,2Aa	7,3Aa	7,3Aa	7,6Aa	7,2Aa	6,3Ba

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem nas colunas e maiúsculas nas linhas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

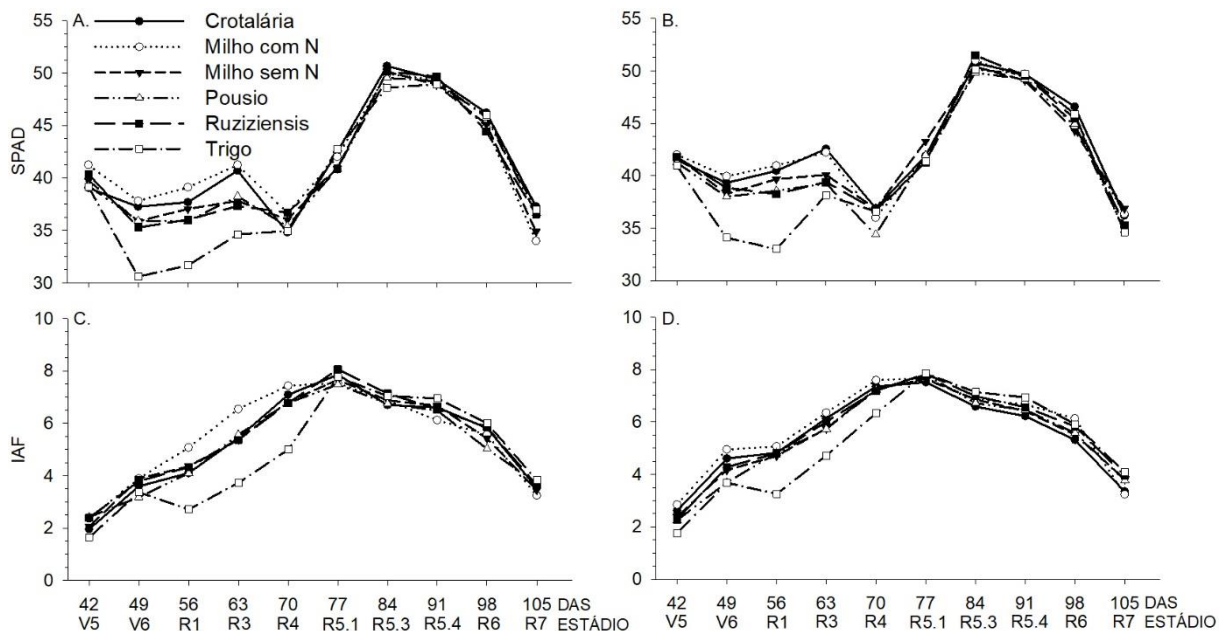
Fonte: o próprio autor.

A adubação nitrogenada na cultura da soja aumentou o índice SPAD nos estádios V5 a R3 (Tabela 4). Após o estágio R4 não foram observados efeitos da aplicação de N mineral sobre essa variável. Nesse sentido, o N aplicado na implantação da soja conferiu maior teor de clorofila nas folhas de soja nas fases de crescimento vegetativo e florescimento. No entanto, após o aumento do N fixado via simbiose, esse efeito tendeu a desaparecer. Portanto pode-se inferir que a aplicação de N-mineral auxilia no crescimento das fases iniciais, enquanto a atividade da FBN ainda está se intensificando (HUNGRIA et al., 2006).

Adicionalmente, maiores valores de IAF da soja foram observados com a adubação nitrogenada nos estádios V6, R1 e R3. No estágio V5 e de R5.1 em diante, não foram observados efeitos do N sobre o IAF da soja. No início do ciclo até V5, é provável que as reservas de N na semente e o N disponível no solo foram

suficientes para o crescimento de folhas, já que nessa fase a taxa de acúmulo de N na biomassa da soja é menor do que nas fases de florescimento e enchimento de grãos (FRANCHINI et al., 2015a). Por outro lado, após o estágio R5.1, provavelmente o processo de fixação biológica de N (FBN) disponibilizou o N necessário à emissão e expansão de folhas novas.

Figura 6. A. Índice *soil plant analysis development* (SPAD) na soja sem adubação nitrogenada; B. índice SPAD na soja com adubação nitrogenada; C. índice de área foliar na soja sem adubação nitrogenada; D. índice de área foliar na soja com adubação nitrogenada. Londrina-PR, 2017.



DAS= Dias após a semeadura.

Fonte: o próprio autor.

Os valores máximos de índice SPAD (próximos de 50) e IAF (próximos a 8) ocorreram nos estádios R5.3 e R5.1, respectivamente. Após este pico de IAF, não houve diferenças expressivas entre as culturas de entressafra e adubação (Figura 6), provavelmente pela capacidade da soja em modular o seu crescimento de acordo com o ambiente de cultivo (COX; CHERNEY, 2011; PROCÓPIO et al., 2013). Após o início de formação dos grãos, há redução dos teores de N foliar, decorrente do autossombreamento e translocação de fotoassimilados das folhas para os grãos, resultando na senescência foliar (HEIFFIG et al., 2006).

Não houve interação significativa entre os fatores experimentais para número de nódulos por planta e massa seca de nódulos (Tabela 5). No pleno florescimento da soja (R2), a massa seca de nódulos por planta foi maior quando cultivada após trigo e braquiária, comparativamente à crotalária. É provável que, apesar do baixo crescimento da crotalária, esta disponibilizou maior quantidade de N inorgânico no solo, reduzindo a necessidade de formação de nódulos maiores para fixação do N atmosférico. Maiores teores de N-nitrato no solo tendem a reduzir a quantidade e o crescimento dos nódulos da soja (MINCHIN; WITTY, 2005; FOO et al., 2013). Por outro lado, não se constatou diferença de nodulação na soja cultivada após o milho segunda safra com e sem adubação nitrogenada de cobertura (80 kg de N ha¹).

A adubação nitrogenada na soja influenciou negativamente tanto o número quanto a massa dos nódulos como constatado por Saturno et al. (2017). A presença de componentes nitrogenados no solo inibe a formação nodular em diferentes estádios fenológicos, fazendo com que a planta não produza fitoassimilados em suficiência para estímulo das bactérias da FBN (CARROLL; GRESSHOFF, 1983; STEPHENS; NEYRA, 1983; GIBSON; HARPER 1985).

Tabela 5. Nódulo por planta e massa seca de nódulos por planta de plantas de soja no estágio R2, semeada após culturas de entressafra e adubação nitrogenada. Londrina-PR, 2017.

	Nódulo por planta (un.)	Massa seca de nódulos por planta (g)	Ureídos ($\mu\text{g L}^{-1}$)
Braquiária	28,8	0,14a	21,4
Crotalária	26,4	0,09b	29,1
Milho 0 N	25,1	0,11ab	26,6
Milho 80 N	29,4	0,12ab	30,4
Pousio	27,1	0,10ab	30,6
Trigo	29,1	0,15a	24,8
CV (%)	22,5	28,3	13,3
Soja 0 N	29,8a	0,13a	27,3
Soja 30 N	25,6b	0,10b	27,0
CV (%)	25,9	34,3	11,7
Interação	ns	ns	**

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste de Tukey. ns= não significativo, **= significativo a 1%.

Fonte: o próprio autor.

Houve interação entre os fatores os experimentais para o teor de ureídos (Tabela 5). A soja sem N em sucessão a crotalária apresentou mais ureídos em relação ao cultivo após o trigo e a braquiária (Tabela 6). Isso demonstra que,

apesar da soja cultivada após a crotalária apresentar menor massa de nódulos (Tabela 5), esses foram eficientes em realizar a FBN, quantificada por meio do ureído. Isso ocorre porque o ureído se constitui na principal forma de N fixado transportado via xilema (HUNGRIA; ARAUJO, 1994; KING; PURCELL, 2005; HUNGRIA et al., 2006). Para a soja com N, os menores teores de ureídos foram observados no cultivo após a braquiária e a crotalária. Para braquiária e crotalária, observou-se que o N aplicado na implantação da soja reduziu o teor de ureídos na soja, provavelmente afetando negativamente a FBN.

Tabela 6. Desdobramento da interação para ureídos de plantas de soja no estágio R2, semeada após diferentes culturas de entressafra e adubação nitrogenada. Londrina-PR, 2017.

	Desdobramento ureídos ($\mu\text{g L}^{-1}$)					
	Braquiária	Crotalária	Milho 0 N	Milho 80 N	Pousio	Trigo
Soja 0 N	25,3BCa	32,3Aa	26,7ABCa	29,0ABa	29,2ABa	21,4Cb
Soja 30 N	17,5Cb	25,8Bb	26,5ABa	31,8ABa	32,1Aa	28,2ABa

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre si nas colunas e letras maiúsculas entre as linhas a 1% de significância, pelo teste de Tukey.

Fonte: o próprio autor.

Não houve interação significativa entre as culturas de entressafra e a adubação nitrogenada na cultura da soja para a altura, a altura de inserção de primeira vagem, vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de mil grãos e a produtividade de grãos (Tabela 7). O cultivo da soja após o milho que recebeu N em cobertura resultou em plantas com porte maior que as cultivadas após o trigo. A altura de inserção de primeira vagem da soja após o milho que não recebeu N em cobertura foi maior que quando cultivada após o trigo. De forma geral, os resultados evidenciaram menor crescimento vegetativo da soja em sucessão ao trigo, comparativamente aos demais tratamentos de entressafra. É possível que a maior quantidade de palha do trigo (Figura 5) tenha provocado maior imobilização temporária de N, reduzindo a disponibilidade desse nutriente à soja, sobretudo na fase vegetativa da cultura. Por sua vez, a aplicação de N mineral na soja não influenciou a altura das plantas e a altura de inserção da primeira vagem, como observado por Silva et al. (2011) e Werner et al. (2016).

Os tratamentos de entressafra não influenciaram o número de vagens por planta e o número de grãos por vagem, mas afetaram a massa de mil

grãos (Tabela 7). A soja cultivada após o milho com adubação nitrogenada apresentou maior massa de grãos em relação à cultivada após a crotalária, milho sem N e trigo. Por sua vez, a adubação nitrogenada da soja não influenciou o número de vagens por planta e a massa de mil grãos, mas reduziu o número de grãos por vagem.

Tabela 7. Altura de plantas, altura de inserção de primeira vagem e produtividade de soja cultivada após diferentes culturas de entressafra e adubação nitrogenada, na safra de 2016/17. Londrina-PR, 2017.

	Altura (cm)	Altura de inserção de primeira vagem (cm)	Vagem por planta (un.)	Número de grãos por vagem (un.)	Massa de mil grãos (g)	Produtividade de (kg ha ⁻¹)
Braquiária	106,4ab	13,0ab	46,7	2,3	148,0ab	4499
Crotalária	106,8ab	14,0ab	42,3	2,2	139,0b	4321
Milho 0 N	109,8ab	17,8a	44,0	2,4	139,2b	4223
Milho 80 N	118,7a	14,9ab	41,1	2,1	167,2a	4345
Pousio	110,2ab	13,3ab	41,9	2,3	145,0ab	4476
Trigo	98,4b	10,4b	51,4	2,2	137,5b	4560
CV (%)	10,1	33,5	17,6	10,8	12,6	6,5
Soja 0 N	107,9	12,9	44,5	2,3a	144,1	4379
Soja 30 N	108,9	14,9	44,6	2,1b	147,8	4429
CV (%)	7,9	46,7	19,8	13,6	9,4	8,1
Interação	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. ns= não significativo.

Fonte: o próprio autor.

Balbinot Junior et al. (2011) também constataram que a produtividade da soja é pouco afetada pelas culturas de entressafra. A adubação nitrogenada na semeadura da soja não se mostrou eficaz, nas condições edafoclimáticas locais, independentemente da cobertura vegetal, como observado por Werner et al. (2016). Kaschuk et al. (2016) ressaltam ainda que a aplicação de fertilizantes nitrogenados afeta negativamente a nodulação, implicando em prejuízos na produtividade de grãos, além do custo técnico de uma prática desnecessária. Quando a inoculação é realizada da forma indicada pela pesquisa, a FBN e o N-inorgânico do solo suprem a demanda da soja por esse macronutriente (BARBARO et al., 2009; MUGENDI et al., 2010; ZILLI et al., 2010).

O IAF e o índice SPAD não se correlacionaram com a produtividade (Tabela 8). Isso indica que a elevada velocidade de formação de folhas pela soja, na fase vegetativa, não implica em maiores produtividades de grãos. Também indica que o aumento da concentração de clorofila foliar na fase vegetativa pode não se

refletir em aumento de produtividade de grãos. A correlação foi positiva entre IAF e SPAD nos quatro estádios iniciais (V5 a R3). A planta investe na quantidade e qualidade das folhas, aumentando a área foliar e teor de clorofila até a formação de vagens, momento em que o efeito do N cessa para o IAF e SPAD (Tabela 4).

Tabela 8. Correlação entre a produtividade de grãos com os índices de área foliar (IAF) e soil plant analysis development (SPAD) em diferentes estádios fenológicos da cultura da soja. Londrina-PR, 2017.

	Correlação									
	V5	V6	R1	R3	R4	R5.1	R5.3	R5.4	R6	R7
	Produtividade									
SPAD	0,16	-0,29	-0,39	-0,24	0,23	-0,07	0,49	0,43	0,13	-0,29
IAF	-0,20	-0,33	-0,25	-0,18	-0,27	0,10	0,35	-0,09	-0,07	0,52
	SPAD									
IAF	0,59*	0,73**	0,95**	0,87**	0,32	-0,13	-0,06	-0,18	-0,14	0,02

* correlação a 5% de significância; ** correlação a 1% de significância.

Fonte: o próprio autor.

Houve correlação significativa entre nódulo por planta e massa seca de nódulos, assim os nódulos por planta aumentam em quantidade concomitantemente com o aumento de massa seca dos nódulos (Tabela 9). Os ureídos não se relacionam com as outras variáveis.

Apesar de alguns efeitos das culturas de entressafra e da adubação nitrogenada da soja sobre componentes de rendimento, a produtividade de grãos da oleaginosa não foi influenciada pelas culturas de entressafra, pela adubação nitrogenada na soja e pela interação entre esses dois fatores (Tabela 7). Esse resultado demonstra que os efeitos significativos do uso do solo no outono/inverno e da aplicação de N mineral na soja sobre o crescimento inicial das plantas não se refletiram na produtividade de grãos. A importância prática notável, pois é um indicativo que as áreas agrícolas podem ser cultivadas no outono/inverno com milho segunda safra sem redução de produtividade da soja em relação ao cultivo de espécies para cobertura do solo. Também indica que a adubação com N mineral na implantação da soja é desnecessária, impactando na redução de custos com fertilizantes.

Tabela 9. Correlação entre nódulos por planta, com massa seca de nódulos e ureídeos. Londrina-PR, 2017.

	Correlação		
	Nódulo por planta (un.)	Massa seca nódulos (g)	Ureídeos ($\mu\text{g L}^{-1}$)
Nódulo por planta (un.)		0,64*	0,13
Massa seca nódulos (g)			0,11

correlação a 5% de significância.

Fonte: o próprio autor.

5.4 Conclusões

O trigo resultou em menor IAF e SPAD da soja até a fase de formação das vagens.

A soja que recebeu N conferiu maior IAF e SPAD até a fase de formação das vagens, porém a adubação nitrogenada reduz o número e a massa seca de nódulos, sem influenciar o teor dos ureídeos.

O milho com N incrementou a massa de mil grãos da soja.

As culturas de entressafra e a adubação nitrogenada na soja não influenciam a produtividade de grãos da soja.

5.5 Referências

ALMEIDA, V. P.; CRISTINA ALVES, M.; CABRAL DA SILVA, E.; APARECIDA DE OLIVEIRA, S. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, 2008.

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J.; VEIGA, M. Formas de uso do solo no inverno e sua relação com a infestação de plantas daninhas em milho (*Zea mays*) cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 569-576, 2008.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; YOKOYAMA, A. H. Contribution of roots and shoots of *Brachiaria* species to soybean performance in succession. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 8, p. 592-598, 2017.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; VEIGA, M. D.; MORAES, A. D.; PELISSARI, A.; MAFRA, A. L.; PICOLLA, C. D. Winter pasture and cover crops and their effects on soil and

summer grain crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1357-1363, 2011.

BARBARO, I. M.; MACHADO, P. C.; BARBARO JUNIOR, L. S.; TICELLI, M.; MIGUEL, F. B.; SILVA, J. A. A. Produtividade da soja em resposta á inoculação padrão e co-inoculação. **Colloquium Agrariae**, v. 5, p. 1-7, 2009.

BRANCALIÃO, S. R.; EIRA AGUIAR, A. T.; BRANCALIÃO, E. M.; LIMONTA, C. R.; ROSSI, C. E.; CRISTOVÃO, N. N. Produtividade e composição dos grãos de soja em rotação com culturas de cobertura após o aporte de nitrogênio. **Nucleus**, v. 12, n. 1, p. 69-76, 2015.

CÂMARA, G. M. S. Fixação biológica do nitrogênio em soja. **Informações Agrônomicas**, v. 147, p. 1-9, 2014.

CARROLL, B. J.; GRESSHOFF, P. M. Nitrate inhibition of nodulation and nitrogen fixation in white clover. **Zeitschrift für Pflanzenphysiologie**, v. 110, n. 1, p. 77-88, 1983.

CARVALHO, W. P.; CARVALHO, G. J.; NETO, D. DE O. A.; TEIXEIRA, L. G. V. Desempenho agrônômico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 2, p. 157-166, 2013.

COX, W.; CHERNEY, J. H. Growth and yield responses of soybean to row spacing and seeding rate. **Agronomy journal**, v. 103, n. 1, p. 123-128, 2011.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 48)

FEHR, W. R.; CAVINESS, E. C. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Special Report, 80).

FOO, E.; YONEYAMA, K.; HUGILL, C. J.; QUITTENDEN, L. J.; REID, J. B. Strigolactones and the regulation of pea symbioses in response to nitrate and phosphate deficiency. **Molecular Plant**, v. 6, n. 1, p. 76-87, 2013.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B., DE 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.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Crescimento da soja influenciado pela adubação nitrogenada na cultura, pressão de pastejo e épocas de dessecação de *Urochloa ruziziensis*. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 9, n. 2, p. 129-135, 2015a.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 12, p. 1131-1138, 2015b.

FUENTES, M.; GOVAERTS, B.; DE LEÓN, F.; HIDALGO, C.; DENDOOVEN, L.; SAYRE, K. D.; ETCHEVERS, J. Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. **European Journal of Agronomy**, v. 30, n. 3, p. 228-237, 2009.

GIBSON, A. H.; HARPER, J. E. Nitrate effect on nodulation of soybean by *Bradyrhizobium japonicum*. **Crop Science**, v. 25, n. 3, p. 497-501, 1985.

HEIFFIG, L. S.; CÂMARA, G. M. S.; MARQUES, L. A.; PEDROSO, D. B.; PIEDADE, S. M. S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, v. 65, n. 2, p. 285–295, 2006.

HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-Serviço de Produção e Informação, 1994. 542p.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; CRISPINO, C. C.; MORAES, J. Z.; SIBALDELLI, R. N. R.; MENDES, I. C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 86, n. 4, p. 927-939, 2006.

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? In: DE BRUIJN, F. **Biological Nitrogen Fixation**. Hoboken: Wiley-Blackwell p. 1009-1024.

KASCHUK, G.; NOGUEIRA, M. A.; DE LUCA, M. J.; HUNGRIA, M. Response of determinate and indeterminate soybean cultivars to basal and topdressing N fertilization compared to sole inoculation with *Bradyrhizobium*. **Field Crops Research**, v. 195, p. 21-27, 2016.

KING, C. A.; PURCELL, L. C. Inhibition of N₂ fixation in soybean is associated with elevated ureides and amino acids. **Plant Physiology**, v. 137, n. 4, p. 1389-1396, 2005.

LIU, Y. Y.; WU, L. H.; BADDELEY, J. A.; WATSON, C. A. Models of biological nitrogen fixation of legumes. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 31, p. 155-172, 2010.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; HUNGRIA, M.; SOUSA, D. M. G.; CAMPO, R. J. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1053-1060, 2008.

MINCHIN, F. R.; WITTY, J. F. Respiratory/carbon costs of symbiotic nitrogen fixation in legumes. **Plant respiration**, p. 195-205, 2005.

MORAES, P. V. D.; AGOSTINETTO, D.; PANOZZO, L. E.; OLIVEIRA, C., VIGNOLO, G. K.; MARKUS, C. Manejo de plantas de cobertura no controle de plantas daninhas

e desempenho produtivo da cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, 2013.

MUGENDI, E.; GITONGA, N.; CHERUIYOT, R.; MAINGI, J. Biological nitrogen fixation by promiscuous soybean (*Glycine max* L. Merrill) in the central highlands of Kenya: response to inorganic fertilizer soil amendments. **World journal of agricultural sciences**, v. 6, n. 4, p. 381–387, 2010.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; LOPES MOREIRA, I. C. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, 2008.

PROCÓPIO, S. O.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Plantio cruzado na cultura da soja utilizando uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, p. 319-325, 2013.

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 4, 2010.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. DOS; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 306p.

SATURNO, D. F.; CEREZINI, P.; MOREIRA, P. D. S.; OLIVEIRA, A. B. D.; OLIVEIRA, M. C. N. D.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Mineral Nitrogen Impairs the Biological Nitrogen Fixation in Soybean of Determinate and Indeterminate Growth Types. **Journal of Plant Nutrition**, p. 1-12, 2017.

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**, v. 27, n. 3, 2011.

SMITH, R. G.; GROSS, K. L.; ROBERTSON, G. P. Effects of crop diversity on agroecosystem function: crop yield response. **Ecosystems**, v. 11, n. 3, p. 355-366, 2008.

STEPHENS, B. D.; NEYRA, C. A. Nitrate and nitrite reduction in relation to nitrogenase activity in soybean nodules and *Rhizobium japonicum* bacteroids. **Plant Physiology**, v. 71, n. 4, p. 731-735, 1983.

VOGELS, G. D.; VAN DER DRIFT, C. Differential analyses of glyoxylate derivatives. **Analytical biochemistry**, v. 33, n. 1, p. 143-157, 1970.

WERNER, F.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FERREIRA, A. S.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Soybean growth affected by seeding rate and mineral nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 8, p. 734-738, 2016.

ZILLI, J. E.; CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. Eficácia da inoculação de *Bradyrhizobium* em pré-semeadura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 335-338, 2010.

6 CONCLUSÕES GERAIS

As culturas de entressafra da soja providenciam diferentes quantidades de cobertura vegetal, bem como influenciam na dinâmica de nitrogênio (N) mineral no solo. As espécies cultivadas na entressafra da soja influenciam a nodulação da soja mas não no teor de N. O desempenho agrônômico da soja é influenciado em algumas variáveis pelas culturas de entressafra e adubação nitrogenada da soja, no entanto sem ganhos em produtividade. Não houve interação entre adubação nitrogenada na implantação da soja e culturas de entressafra, quanto ao desempenho agrônômico da soja e dinâmica de N no solo.