



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

MORYB JORGE LIMA DA COSTA SAPUCAY

**DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO MILHO
SEGUNDA SAFRA SOLTEIRO E EM CONSÓRCIO COM
BRAQUIÁRIA OU CROTALÁRIA:
EFEITOS NO CEREAL E NA SOJA EM SUCESSÃO**

MORYB JORGE LIMA DA COSTA SAPUCAY

**DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO MILHO
SEGUNDA SAFRA SOLTEIRO E EM CONSÓRCIO COM
BRAQUIÁRIA OU CROTALÁRIA:
EFEITOS NO CEREAL E NA SOJA EM SUCESSÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Agronomia - Curso de Doutorado da Universidade
Estadual de Londrina, como pré-requisito para a
obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli
Coorientador: Dr. Alvadi Antônio Balbinot Jr.

Londrina
2020

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

S241d Sapucay, Moryb Jorge Lima da Costa.

Doses de nitrogênio em cobertura no milho segunda safra solteiro e em consórcio com braquiária ou crotalária : efeitos no cereal e na soja em sucessão / Moryb Jorge Lima da Costa Sapucay. - Londrina, 2020.
111 f.

Orientador: Claudemir Zucareli.

Coorientador: Alvadi Antônio Balbinot Júnior.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2020.

Inclui bibliografia.

1. *Zea Mays* L. - *Glycine max* L. - *Urochloa ruziziensis* - *Crotalaria spectabilis* - Tese. 2. Manejo da adubação nitrogenada - Tese. 3. Diversificação de culturas - Consorciação - Sucessão de culturas - Tese. 4. Restos culturais - Culturas de Cobertura. - Tese. I. Zucareli, Claudemir . II. Balbinot Júnior, Alvadi Antônio . III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

MORYB JORGE LIMA DA COSTA SAPUCAY

**DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NO MILHO SEGUNDA
SAFRA SOLTEIRO E EM CONSÓRCIO COM BRAQUIÁRIA OU
CROTALÁRIA:
EFEITOS NO CEREAL E NA SOJA EM SUCESSÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Agronomia - Curso de Doutorado da Universidade
Estadual de Londrina, como pré-requisito para a
obtenção do título de Doutor.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Dr. Claudemir Zucareli
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dr. Henrique Debiasi
Embrapa Soja

Dr. Osmar Conte
Embrapa Soja

Dr. André Sampaio Ferreira
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dr. Thiago Ometto Zorzenoni
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 6 de Abril de 2020.

*A Deus, pois tudo o que sou, o que tenho,
o que serei e o que terei pertence a Ele.
Aos meus amados pais pelo amor e dedicação.
Às minhas queridas irmãs pelo incentivo e apoio.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me amar desde o ventre de minha mãe, por estar comigo em todos os momentos, por ter acalmado meu coração e refrigerado minha alma nos momentos difíceis, por renovar minhas forças e me capacitar para vencer cada desafio durante esses três anos. Por me ajudar a construir minha história dia após dia, por realizar os desejos do meu coração e por sempre estar disposto a me ouvir e me indicar a direção correta a seguir. Por colocar pessoas tão especiais em “meu caminho”.

Ao meu orientador, professor Dr. Claudemir Zucareli, por ter aceitado à orientação e tornado esse projeto possível. Pela sabedoria, conselhos e ensinamentos compartilhados em cada conversa. Pelas oportunidades dadas para meu crescimento pessoal, acadêmico e profissional. Pela confiança em mim depositada, pelas palavras de incentivo e apoio nos momentos mais difíceis. Por suas importantes e valiosas contribuições nos trabalhos realizados. Por estar sempre disponível em meio à todas as atividades do dia a dia.

Ao meu coorientador, Dr. Alvadi Balbinot, por ter aceitado à coorientação e permitido desenvolver esse trabalho junto à Embrapa Soja. Pela disponibilidade para tirar dúvidas, pelos valiosos ensinamentos práticos e teóricos, pelas ideias, críticas e sugestões dadas.

Aos membros da Banca Examinadora, pelas importantíssimas contribuições e sugestões apresentadas.

À Universidade Estadual de Londrina, especialmente, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela acolhida e formação.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos colaboradores do Manejo do Solo da Embrapa Soja, pela ajuda na montagem e condução dos experimentos e coleta de dados.

A todos os estagiários, que em algum momento ajudaram nas avaliações dos experimentos desenvolvidos durante o doutorado.

Aos amigos e companheiros de trabalho Bratti e Locatelli, que estiveram presente independente de ser dia de semana ou final de semana/feriado, tempo ensolarado ou chuvoso, dia ou noite, antes ou depois do horário comercial, tornando os trabalhos diários mais leves com suas ajudas, causos, cantorias e histórias de vida.

Ao meu amigo pesquisador e companheiro de muitas e muitas horas de trabalho Antonio Coelho, pelas experiências, boas histórias e conhecimentos divididos. Por todos os debates, ideias, contribuições e auxílios acadêmicos a qualquer hora do dia ou da noite.

Ao meu pai, Jorge, pelo seu amor, por seu esforço dedicado, me dando oportunidade de realizar meus estudos nas melhores instituições de ensino, pela proteção, pelos ensinamentos, pelos conselhos, por todo apoio financeiro, por ser um exemplo de determinação e vitória em meio às adversidades, por sempre se preocupar com meu bem-estar.

À minha mãe, Edinatelma, por seu amor, pela educação, cumplicidade e cuidado, pela compreensão nos momentos de correria, pelo incentivo, por me ajudar a construir minha personalidade e por suas orações, que me guardam e aplainam os caminhos que me levam ao sucesso.

Às minhas amadas irmãs, Chaym e Verônica, por sempre me apoiarem, me entusiasmarem, por serem minhas primeiras, grandes e verdadeiras amigas, pelas brincadeiras, momentos de comunhão e de crescimento espiritual e pessoal.

À Igreja Verbo da Vida Londrina, lugar de comunhão, oração e conhecimento da Palavra de Deus.

A todos os tios e tias, pelo grande apoio e incentivo.

Aos meus avôs e avós, por suas histórias, momentos de aprendizado e pela simples sabedoria que ajudou a formar o meu caráter.

Aos meus amigos de pós-graduação, Abílio, André, Ailton, Bazzo, Diogo, Eduardo, Flávia, Marli, Marinara, Osmar, Osvaldo, Perini, Renata e Viola, pelos anos de convivência e histórias compartilhadas, sempre me ajudando a superar as dificuldades do dia a dia, com momentos de trabalho em conjunto, conversa ou descontração.

A Fabio Raseck e sua família, que me receberam e me hospedaram muito bem quando cheguei nessa cidade.

A seu Valdir, dona Rose, Vitor, Lucas e Bruna por todos os convites e momentos em família. Certamente a presença de vocês amenizou a saudade dos meus familiares, principalmente nos finais de semana, feriados e datas comemorativas. Não tenho palavras para agradecer todo o carinho, consideração e tudo que vocês fizeram por mim.

À todas as pessoas que oraram e oram pelo meu sucesso.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente participaram e contribuíram para a minha formação e conclusão do doutorado.

SAPUCAY, Moryb Jorge Lima da Costa. **Doses de nitrogênio em cobertura no milho segunda safra solteiro e em consórcio com braquiária ou crotalária:** efeitos no cereal e na soja em sucessão. 2020. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2020.

RESUMO

O uso de modelos de produção pouco diversificados, como a sucessão soja/milho que predomina no Brasil, pode comprometer a estabilidade e a sustentabilidade do sistema produtivo. Práticas que visem aumentar a diversificação de espécies cultivadas em larga escala, como a consorciação do milho segunda safra com plantas de cobertura, são alternativas em expansão. Em função do menor potencial de produtividade do cultivo de milho na segunda safra, muitos produtores têm eliminado a adubação nitrogenada de cobertura, porém sem compreender o impacto dessa prática no milho, tanto solteiro quanto consorciado, e na soja semeada em sucessão. Porém, a interação entre o milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura, bem como a interação com a adubação nitrogenada de cobertura ainda não estão completamente elucidadas. O objetivo foi avaliar o efeito de doses de nitrogênio no milho segunda safra cultivado solteiro e em consórcio com braquiária (*Urochloa ruziziensis*) ou crotalária (*Crotalaria spectabilis*) sobre o desempenho agrônômico do cereal e da soja cultivada em sucessão. O experimento foi conduzido em Londrina/PR durante os anos 2018 e 2019, na mesma área experimental, em um Latossolo Vermelho distroférico com textura muito argilosa, manejado em Sistema Plantio Direto há 10 anos. O delineamento experimental utilizado foi blocos completos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pelo cultivo do milho solteiro (cv. AG 9010 PRO), consorciado com braquiária ou com crotalária e as subparcelas pelas doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no estágio V4 e parceladas a partir da dose de 120 kg ha⁻¹ em V4 e V8, na forma de nitrato de amônio (33% de N). No verão, em sucessão ao milho, foi cultivada a soja (cv. BRS 1003 IPRO). Foram avaliadas características fitométricas das culturas e componentes de produção e produtividade de grãos do milho e da soja. Em Latossolo Vermelho distroférico, com elevados teores nutricionais e matéria orgânica sob condições de restrição hídrica, na ausência de adubação nitrogenada e com uso de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura, o consórcio com *U. ruziziensis* reduz o crescimento e o desempenho produtivo do milho. A adubação nitrogenada de cobertura no milho segunda safra em consórcio com *U. ruziziensis* minimiza a competição da forrageira sobre o crescimento do milho e proporciona, em doses superiores a 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, desempenho produtivo similar ao cereal solteiro em SPD. O consórcio com *C. spectabilis* não altera o crescimento e o desempenho produtivo do milho, bem como a resposta a doses de N aplicada em cobertura em relação ao sistema de milho solteiro na segunda safra. O incremento do nitrogênio em cobertura no milho segunda safra, independentemente do sistema de cultivo, aumenta o crescimento e desempenho produtivo da soja em SPD. O milho segunda safra consorciado com braquiária proporciona maior quantidade de palhada no SPD que o milho solteiro ou consorciado com crotalária, sem reflexos no crescimento e desempenho produtivo da soja cultivada em sucessão.

Palavras-chave: *Zea Mays* L. *Glycine max* L. *Urochloa ruziziensis*. *Crotalaria spectabilis*. Manejo da adubação nitrogenada.

SAPUCAY, Moryb Jorge Lima da Costa. **Nitrogen in off-season corn single and intercropped with brachiaria or crotalaria:** effects on the cereal and the soybean in succession. 2020. 111 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2020.

ABSTRACT

The use of poorly diversified production models, such as the succession of soybeans / corn that prevails in Brazil, can compromise the stability and sustainability of the production system. Practices that increase the diversification of species cultivated on a large scale, such as off-season corn intercropped with cover crops, are expanding alternatives. Due to the lower productivity potential of corn cultivation in the fall-winter, many producers have eliminated nitrogen top-dressing, but without understanding the impact of this practice on corn, both single and intercropped, and on soybean sowed in succession. However, the interaction between off-season corn intercropped with cover crops, as well as the interaction with nitrogen top-dressing fertilization is not fully elucidated yet. The objective was to evaluate the effect of nitrogen rates on off-season corn grown single and intercropped with brachiaria (*Urochloa ruziziensis*) or crotalaria (*Crotalaria spectabilis*) on the agronomic performance of cereal and soybean grown in succession. The research was carried out during the years 2018 and 2019, in the same experimental area, in a Latossolo Vermelho distroférico with a very clayey texture, managed in a no-till system for 10 years. The experimental design used was a complete randomized blocks, in a split-plot scheme, with four replicates. The plots were constituted by the cultivation of single corn (cv. AG 9010 PRO), intercropped with brachiaria or crotalaria and the subplots by nitrogen top-dressing rates (0, 60, 120, 180 and 240 kg ha⁻¹) at the stage V4 and parceled from the dose 120 kg ha⁻¹ in V4 and V8, using ammonium nitrate (33% N) as source. In the summer, soybeans were grown (cv. BRS 1003 IPRO) in succession to corn. Phytometric characteristics of the crops and components of production and productivity of corn and soybeans were evaluated. In the Latossolo Vermelho distroférico, with high nutritional contents and organic matter under water restriction conditions, in the absence of nitrogen fertilization and using 60 kg ha⁻¹ of nitrogen top-dressing, the intercropping with *U. ruziziensis* reduces the growth and the productive performance of the corn. Nitrogen fertilization top-dressing in off-season corn intercropped with *U. ruziziensis* minimizes forage competition over corn growth and provides, in rates above 120 kg ha⁻¹ of nitrogen, similar production performance to single cereal in no-till system. The intercropping with *C. spectabilis* does not alter the growth and the productive performance of the corn, as well as the response to N top-dressing rates in relation to the system of single off-season corn. The increase in nitrogen top-dressing in off-season corn, regardless of the cultivation system, increases the growth and productive performance of soybeans in no-till system. Off-season corn intercropped with brachiaria provides a greater amount of straw in the no-till system than single corn or intercropped with crotalaria, with no impact on the growth and productive performance of soybean grown in succession.

Key words: *Zea Mays* L. *Glycine max* L. *Urochloa ruziziensis*. *Crotalaria spectabilis*. N-fertilizer management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO A: DOSES DE NITROGÊNIO NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO SEGUNDA SAFRA SOLTEIRO E CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA OU CROTALÁRIA

- Figura 1** Extrato do balanço hídrico climatológico sequencial (mm), temperatura máxima (T_{máx}) e mínima (T_{mín}), decendial na safra 2018 e safra 2019, período de 01/02 a 31/08, conforme metodologia descrita por Thornthwaite e Mather (1955), com CAD de 75 mm, segundo dados da estação meteorológica da Embrapa Soja Londrina - PR..... 48
- Figura 2** Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre índice SPAD em R1 (A e B), em Londrina-PR, segunda safra 2018 e 2019..... 55
- Figura 3** Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) no milho segunda safra sobre índice de vegetação por diferença normalizada em V4 e em V7 (NDVI em V4 e em V7) (A e B), em Londrina-PR, segunda safra 2018 e 2019 57
- Figura 4** Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre área foliar por planta em R1 (AF) (A e B), em Londrina-PR, segunda safra 2018 e 2019 58
- Figura 5** Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) ou doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre a massa do pendão (MPS em R6) (A), massa de folha (MFS em R6) (B) e massa de grão (MGS em R6) (C) secos em R6, em Londrina-PR, segunda safra 2018 e 2019 60
- Figura 6** Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de

	nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha ⁻¹) no milho segunda safra sobre diâmetro do colmo (DC), em Londrina-PR, segunda safra 2018.....	61
Figura 7	Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + <i>Urochloa ruziziensis</i> (MB); e milho + <i>Crotalaria spectabilis</i> (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha ⁻¹) no milho segunda safra sobre a altura de planta (AP) (A e B), em Londrina-PR, segunda safra 2018 e 2019.....	62
Figura 8	Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + <i>Urochloa ruziziensis</i> (MB); e milho + <i>Crotalaria spectabilis</i> (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha ⁻¹) no milho segunda safra sobre altura de inserção da espiga (AE), em Londrina-PR, segunda safra 2019.....	63
Figura 9	Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + <i>Urochloa ruziziensis</i> (MB); e milho + <i>Crotalaria spectabilis</i> (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha ⁻¹) no milho segunda safra sobre número de espiga por planta (NEP), em Londrina-PR, segunda safra 2018.....	64
Figura 10	Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + <i>Urochloa ruziziensis</i> (MB); e milho + <i>Crotalaria spectabilis</i> (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha ⁻¹) no milho segunda safra sobre número de fileira por espiga (NFE) (A e B), em Londrina-PR, segunda safra 2018 e 2019.....	65
Figura 11	Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + <i>Urochloa ruziziensis</i> (MB); e milho + <i>Crotalaria spectabilis</i> (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha ⁻¹) no milho segunda safra sobre o número de grãos por fileira (NGF) (A) e número de grãos por espiga (NGE) (B), em Londrina-PR, segunda safra 2019.....	66
Figura 12	Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M) – linha contínua; milho + <i>Urochloa ruziziensis</i> (MB) – linha tracejada; e milho + <i>Crotalaria spectabilis</i> (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha ⁻¹) no milho segunda safra sobre a massa de mil grãos (MMG), em Londrina-PR, segunda safra 2019.....	67

Figura 13 Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre e produtividade de grãos (PROD) (B), em Londrina-PR, segunda safra de 2019 69

ARTIGO B: DESEMPENHO DA SOJA CULTIVADA EM SUCESSÃO AO MILHO SEGUNDA SAFRA SOLTEIRO E CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA OU CROTALARIA E DOSES DE NITROGÊNIO

Figura 1 Extrato do balanço hídrico climatológico sequencial (mm), temperaturas máximas (T_{máx}) e mínimas (T_{mín}), por decêndio, no período de 01/09 a 29/02, conforme metodologia descrita por Thornthwaite e Mather (1955), com CAD de 75 mm, segundo estação meteorológica da Embrapa Soja Londrina - PR 84

Figura 2 Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e/ou doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre a massa seca do milho (MSM) (A e B), da crotalária (MSC) (C), da braquiária (MSB) (D) e massa total (MST) (E e F), em Londrina-PR, safras de segunda safra 2018 e 2019..... 92

Figura 3 Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro; milho + *Urochloa ruziziensis*; e milho + *Crotalaria spectabilis*) ou doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre o índice SPAD em V4 (A), R2 (B) e R5.1 (C) da soja, em Londrina-PR, safra 2019/2020..... 94

Figura 4 Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e/ou doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre o índice de vegetação por diferença normalizada em R2 (A) e R5.1 (NDVI em R2 e R5.1) (B e C) da soja, em Londrina-PR, safras 2018/2019 e 2019/2020 96

Figura 5 Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro (M) – linha contínua; milho + *Urochloa ruziziensis* (MB) – linha tracejada; e milho +

Crotalaria spectabilis (MC) – ponto e linha tracejada) e/ou doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre a massa da soja seca em R2 (A) e R5.1 (MSS em R2 e R5.1) (B e C) da soja, em Londrina-PR, safras 2018/2019 e 2019/2020 98

Figura 6 Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre o número de vagens m⁻² (NV), em Londrina-PR, safra 2018/2019..... 99

Figura 7 Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre a produtividade de grãos (PROD) da soja (A e B), em Londrina-PR, safras 2018/2019 e 2019/2020 100

LISTA DE TABELAS

ARTIGO A: DOSES DE NITROGÊNIO NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO SEGUNDA SAFRA SOLTEIRO E CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA OU CROTALÁRIA

- Tabela 1** Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro; milho + *Urochloa ruziziensis*; e milho + *Crotalaria spectabilis*) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra, em Londrina, PR, no segunda safra de 2018..... 53
- Tabela 2** Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro; milho + *Urochloa ruziziensis*; e milho + *Crotalaria spectabilis*) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra, em Londrina, PR, no segunda safra de 2019..... 54

ARTIGO B: DESEMPENHO DA SOJA CULTIVADA EM SUCESSÃO AO MILHO SEGUNDA SAFRA SOLTEIRO E CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA OU CROTALARIA E DOSES DE NITROGÊNIO

- Tabela 1** Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro; milho + *Urochloa ruziziensis*; e milho + *Crotalaria spectabilis*) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre desempenho agronômico da soja cultivada em sucessão, em Londrina, PR, safra 2018/2019 89
- Tabela 2** Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro; milho + *Urochloa ruziziensis*; e milho + *Crotalaria spectabilis*) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre desempenho agronômico da soja cultivada em sucessão, em Londrina, PR, safra 2019/2020 90

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO MILHO.....	17
2.2	MILHO SEGUNDA SAFRA	18
2.3	ADUBAÇÃO NITROGENADA NO MILHO SEGUNDA SAFRA	20
2.4	ADUBAÇÃO NITROGENADA NO MILHO EM CONSÓRCIO COM PLANTAS DE COBERTURA	24
2.5	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA SOJA.....	28
2.6	DIVERSIFICAÇÃO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO	29
	REFERÊNCIAS	34
3	ARTIGO A: DOSES DE NITROGÊNIO NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO SEGUNDA SAFRA SOLTEIRO E CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA OU CROTALÁRIA	43
3.1	INTRODUÇÃO.....	45
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	47
3.2.1	Descrição Da Área Experimental	47
3.2.2	Delineamento Experimental, Tratamentos E Condução Do Experimento.....	47
3.2.3	Variáveis Avaliadas.....	49
3.2.4	Análise Estatística	50
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
3.4	CONCLUSÕES.....	72
	REFERÊNCIAS	73
4	ARTIGO B: DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA EM SUCESSÃO AO MILHO SOLTEIRO E CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA OU CROTALARIA, SUBMETIDO A DOSES DE NITROGÊNIO	79
4.1	INTRODUÇÃO.....	81
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	83
4.2.1	Descrição Da Área Experimental	83

4.2.2	Delineamento Experimental, Tratamentos E Condução Do Experimento.....	83
4.2.3	Milho Solteiro E Consorciado Na Segunda Safra.....	84
4.2.4	Soja Em Sucessão Aos Cultivos De Segunda Safra.....	85
4.2.5	Características Avaliadas	86
4.2.6	Análise Estatística	87
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	88
4.4	CONCLUSÕES.....	103
	REFERÊNCIAS	104
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	110

1 INTRODUÇÃO

A soja e o milho são destaques entre as culturas graníferas no Brasil, tanto em área cultivada quanto em produção de grãos. A soja cultivada na primeira safra e o milho na segunda safra compõem o principal sistema de produção utilizado, visando o aproveitamento da área e a rentabilidade nas propriedades. O cultivo do milho na segunda safra, além da viabilidade econômica, proporciona diversos benefícios agronômicos, dentre eles a formação da palhada para a manutenção do Sistema Plantio Direto (SPD).

A sucessão soja/milho se consolidou como o principal modelo de produção de grãos no Brasil na última década, em função do grande mercado dessas commodities, do pacote tecnológico robusto para produção e da possibilidade de cultivo das duas culturas comerciais na mesma estação chuvosa. No entanto, modelos de produção pouco diversificados e de uso contínuo ao longo dos anos, como a sucessão soja/milho, podem proporcionar uma série de problemas no sistema de produção, como a degradação da estrutura do solo, o aumento da incidência e dificuldade no controle de algumas pragas, doenças e plantas daninhas.

Assim, o uso de tecnologias e modelos de produção mais sustentáveis e diversificados é uma necessidade crescente na tentativa de minimizar os problemas advindos da sucessão de culturas, maximizar o uso da terra e aumentar a rentabilidade das atividades agrícolas. É o caso do cultivo de milho consorciado com gramíneas forrageiras tropicais ou leguminosas, com destaque para as plantas do gênero *Urochloa* e *Crotalaria*, respectivamente.

O consórcio do milho com culturas de cobertura, forrageiras ou leguminosas, pode proporcionar melhorias físicas, químicas e biológicas ao solo, contribuindo para estabilidade e sustentabilidade do sistema produtivo, desde que sejam utilizadas as técnicas preconizadas pela pesquisa. O consórcio do milho com espécies de braquiária é uma técnica utilizada com sucesso por alguns produtores em várias regiões do Brasil, mas seus efeitos sobre a soja em sucessão são muito variáveis com o ambiente de cultivo e outras práticas de manejo adotadas no sistema de produção.

Adicionalmente, o consórcio com crotalária visa principalmente a fixação de nitrogênio no solo e a produção de palhada com menor relação C/N, bem como o auxílio na supressão de fitonematóides, com destaque nesse aspecto para a maior capacidade da *Crotalaria spectabilis*.

Outro fator que deve ser considerado em um sistema de produção, solteiro ou consorciado, é o manejo nutricional. O nitrogênio é um dos elementos essenciais para o desenvolvimento e crescimento das plantas, sendo exigido em grandes quantidades por culturas

produtoras de grãos. O suprimento de nitrogênio precisa atender a demanda das plantas cultivadas, caso contrário pode se tornar um fator limitante à produtividade.

A aplicação de nitrogênio em cobertura no milho segunda safra é um assunto controverso, pois apesar dos comprovados resultados positivos, ainda há produtores que optam pela supressão parcial ou total deste nutriente. Esse fato é justificado pela segunda safra ser um período de condições climáticas desfavoráveis e por ser cultivado após a soja, l

Salienta-se que trabalhos que avaliaram o efeito de doses de N em cobertura sobre o milho segunda safra consorciado desconsideraram os efeitos dessa prática sobre a soja em sucessão. Assim, é fundamental entender o impacto da adubação nitrogenada no sistema de produção como um todo, justificando estudos sobre a aplicação de maiores quantidades de fertilizantes nas culturas de segunda safra como estratégia de adubação de sistemas de cultivo pensando no aporte de N e outros nutrientes no solo para a cultura em sucessão.

Outro ponto relevante é a necessidade de elucidar possíveis interações entre o consórcio do milho segunda safra e a adubação nitrogenada de cobertura, considerando as características da espécie de cobertura utilização na consorciação, forrageira ou leguminosa, em relação ao cultivo. Esse avanço no conhecimento científico pode contribuir expressivamente para aprimorar o manejo desse sistema de produção em larga escala, uma vez que o produtor continuaria a utilizar a sucessão soja/milho segunda safra, com melhoria na qualidade do solo e do SPD, sem abrir mão de obtenção de renda no curto prazo.

Diante disso o trabalho foi fundamentado nas seguintes hipóteses: 1) a adubação nitrogenada em cobertura no milho consorciado com braquiária ou crotalária na segunda safra pode minimizar a competição interespecífica e proporcionar maior produtividade ao cereal em SPD; e 2) o consórcio do milho segunda safra com braquiária ou crotalária, associado ao aumento do aporte de N no sistema, pode aumentar a produção de biomassa, refletindo-se em melhor desempenho agrônômico da soja em sucessão em SPD.

Nesse contexto, o objetivo foi avaliar o efeito de doses de nitrogênio no milho segunda safra cultivado solteiro e em consórcio com braquiária (*Urochloa ruziziensis*) ou crotalária (*Crotalaria spectabilis*) sobre o desempenho agrônômico do cereal e da soja cultivada em sucessão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.) é uma monocotiledônea, pertence à família Poaceae e tem origem provável no Continente Americano, onde hoje é o território do México, com evidências de domesticação que datam há mais de 10 mil anos (BARBOSA NETO et al., 2008).

Essa espécie apresenta grande variedade de raças e cultivares, tendo seu cultivo disseminado por todo o mundo devido a características adaptativas que possibilitam sua produção em diferentes latitudes, altitudes e condições de clima e época do ano. O milho também apresenta versatilidade de usos, tanto na alimentação humana, quanto animal, além da obtenção de produtos industrializados. A grande diversidade de usos aliada à possibilidade de cultivo em diversos locais, torna essa cultura umas das espécies agrícolas mais importantes do mundo (MÔRO; NETO FRITSCHÉ, 2017).

O principal componente do grão de milho comum é o amido, cerca de 73%. O amido é utilizado como fonte de energia na dieta animal e humana, ou mesmo, como matéria-prima direta ou indireta para produção de diversos produtos industrializados. O cereal é um dos principais ingredientes nas rações utilizadas na alimentação de aves, bovinos, peixes e suínos pelo mundo (FORNANSIERI FILHO, 2007; ARTUZO et al., 2019).

Segundo a USDA (2020), o *ranking* da produção mundial de milho na safra 2018/2019 é liderado pelos Estados Unidos - EUA (366 milhões de toneladas), China (257 milhões de toneladas) e Brasil (101 milhões de toneladas). EUA, Brasil, Argentina e Ucrânia são os maiores exportadores mundiais desse cereal, em ordem decrescente, e representam 89% das exportações na safra 18/19. Com consumo estimado em 310 milhões de toneladas para safra 2018/2019, o EUA é o maior consumidor do mundo, seguido de China (275 milhões de toneladas), União Europeia (87 milhões de toneladas) e Brasil (66,5 milhões de toneladas). Como os maiores produtores mundiais também são os que mais consomem, não existe um destaque como principal exportador mundial do milho.

A produção do milho no Brasil tem se caracterizado pela semeadura na safra e na segunda safra. O milho é cultivado em praticamente todo o território nacional, cerca de 17 milhões de hectares, e apresenta grande importância nos sistemas de rotação e sucessão de culturas, sendo cultivado em diferentes perfis de propriedades (pequenas, médias e grandes). Dessa área, o Mato Grosso é o estado com maior área cultivada (27%), seguido pelo Paraná, com 15%. Com produtividade média da safra e entressafra de 6,3 mil kg ha⁻¹ na safra 2018/2019

o Paraná apresentou produtividade superior à média nacional, mas ficou atrás das maiores produtividades, alcançadas pelos estados de Santa Catarina e Distrito Federal, 8,0 e 8,5 mil kg ha⁻¹ considerando as duas safras, respectivamente (CONAB, 2020a).

A variedade de condições ambientais que o milho é submetido, por exemplo, quanto altitude e longitude, temperatura, radiação solar, fotoperíodo, umidade, fertilidade, proporciona diferentes respostas produtivas da cultura (ARTUZO et al., 2019). O desenvolvimento de híbridos mais responsivos e adaptados as condições específicas de cada local de produção e de técnicas de manejo contribuíram para elevação da produtividade da cultura (SOUZA; TEIXEIRA, 2015). Entretanto, a produtividade nacional do milho, safra 2018/2019, ainda apresenta resultados inferiores aos principais produtores mundiais do grão: EUA, 11.070 kg ha⁻¹; Argentina, 8.360 kg ha⁻¹; e China, 6.110 kg ha⁻¹ (USDA, 2020).

2.2 MILHO SEGUNDA SAFRA

O milho segunda safra ou milho safrinha é o milho cultivado entre os meses de janeiro e abril, com colheita de junho a agosto. Nessa modalidade de cultivo, a semeadura do cereal ocorre geralmente logo após a colheita da soja. A cultura do milho segunda safra foi implantada pela primeira vez no Brasil no final da década de 70 nos estados do Paraná e Bahia. A obtenção de baixas produtividades nessa época de cultivo, quando comparadas às obtidas na safra de verão, determinou o surgimento e utilização do termo safrinha (CRUZ et al., 2010).

As baixas produtividades do milho segunda safra ocorriam principalmente devido as condições climáticas menos favoráveis ao seu desenvolvimento por se tratar de uma cultura de verão (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Os riscos de semeadura fora da época convencional são altos à produção, uma vez que o crescimento e desenvolvimento do cereal é afetado pelas limitações climáticas nos estádios avançados de desenvolvimento da cultura. Nestas fases há menor disponibilidade hídrica, menor luminosidade e baixas temperaturas, de modo que as lavouras eram conduzidas com baixo nível tecnológico, o que resultava em baixo rendimento (VILHEGAS et al., 2001; SHIOGA; GERAGE et al. 2010).

Com a intensificação do cultivo da soja no período de verão no início da década de 1990, o milho segunda safra tornou-se uma importante opção aos agricultores para o período de outono. O cultivo do cereal na segunda safra aumentou por causa da demanda pelo grão na entressafra, assim, mesmo com a baixa produtividade, a colheita nessa época proporcionava melhor comercialização, resultando em rentabilidade superior à de outras

culturas, como trigo (FORNANSIERI FILHO, 2007), atraindo cada vez mais produtores e gerando demanda para o desenvolvimento de tecnologia para produção do milho segunda safra.

O uso de híbridos de elevado potencial genético adaptados às condições climáticas do período da segunda safra, sementes saudáveis, de alta qualidade e tratadas com agrotóxicos, rotação de culturas com plantas não hospedeiras de doenças ou pragas, semeadura na época adequada usando densidade populacional correta, melhorias das práticas de manejo e uso dos solos, além do manejo adequado da fertilização do solo, são exemplos de tecnologias que definiram o sucesso do cultivo do milho segunda safra (SHIOGA et al., 2016).

A disponibilização de cultivares de soja com tipo de crescimento indeterminado possibilitou também a antecipação da semeadura da oleaginosa, o que, juntamente com a redução do ciclo da cultura (ZANON et al., 2015), permitiu antecipar a semeadura do milho segunda safra, favorecendo o cultivo do cereal. Além disso, a consolidação do SPD facilitou a implantação das culturas, possibilitando a semeadura do milho praticamente no mesmo dia da colheita da soja – um ganho de tempo importante para o sucesso do cultivo do cereal em sucessão à soja (CASÃO JUNIOR et al., 2012).

Atualmente, as maiores áreas de produção de milho segunda safra estão nos estados do Mato Grosso, Paraná, Mato Grosso do Sul e Goiás. Esses estados juntos representaram 80% dos 12,8 milhões de hectares cultivados no Brasil com milho segunda safra em 2019. Quanto à produção, estima-se que estes estados responderão por 87% da produção nacional de milho segunda safra em 2020 (CONAB, 2020b). Em todos esses estados a produção de milho concentra-se na segunda safra. Na segunda safra 2020, calcula-se que o Paraná produzirá cerca de 13 milhões de toneladas, que representam 79% da produção de milho do estado, com produtividade média de 5,7 mil kg ha⁻¹ (CONAB, 2020b). O Paraná é importante produtor de proteína animal, de forma que os grãos paranaenses são, em geral, destinados a atender a produção de aves e suínos (DERAL, 2018b).

Cruz et al. (2010) coletaram dados referentes a 1.138 lavouras que obtiveram produtividade acima de 5.000 kg ha⁻¹, nos estados da região Centro-Oeste, em São Paulo e no Paraná, com a finalidade de caracterizar os sistemas de produção de altas produtividades de milho segunda safra. Eles concluíram que embora tenham sido constatados rendimentos superiores a 8.000 kg ha⁻¹ em todos os estados produtores de milho segunda safra, a maior frequência é de lavouras onde se emprega elevada tecnologia, com rendimentos de grãos entre 5.000 e 7.000 kg ha⁻¹, sendo que a produtividade média geral de todas as áreas foi de 6.213 kg ha⁻¹, correspondendo a 1,6 vezes mais do que a média geral da produtividade do milho segunda

safrá no Brasil. Em geral, as lavouras com altos rendimentos foram semeadas em fevereiro e a maioria foram conduzidas em SPD, com o milho após a soja.

A intensificação dos sistemas de produção com a necessidade de uso otimizado das janelas de cultivo, exigiu alterações no manejo do milho segunda safra, que tem evoluído constantemente em busca de maior estabilidade de produção, com adequações e melhorias em genótipos, refinamento do zoneamento agroclimático, manejo integrado de insetos e plantas invasoras, arranjo de plantas e aplicação de nutrientes e corretivos, com ênfase na adubação nitrogenada (DUARTE et al., 2015).

2.3 ADUBAÇÃO NITROGENADA NO MILHO SEGUNDA SAFRA

O nitrogênio (N) é o nutriente mais exigido pela maioria das culturas, sendo encontrado nas plantas principalmente na forma orgânica. O nitrogênio é constituinte de aminoácidos, que dão origem a outros aminoácidos e proteínas e, conseqüentemente, a enzimas e coenzimas. Assim, está presente em núcleos porfirínicos (clorofila e citocromos), reserva nas sementes, bases nitrogenadas, nucleosídeos, nucleotídeos, ácidos nucléicos, entre outros constituintes celulares, como também de membranas e vários precursores de hormônios vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2017).

O nitrogênio mineral está disponível no solo na forma de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+). Depois de absorvido, o NO_3^- é reduzido a NH_4^+ por reação catalisada pelas enzimas nitrato redutase e nitrito redutase, ou é acumulado no vacúolo das células da raiz para posterior utilização, ou ainda é transportado para a parte aérea da planta, onde pode ser reduzido e assimilado. O NH_4^+ absorvido ou obtido pela redução do nitrato é rapidamente incorporado em esqueletos de carbono por meio de duas vias, a GS/GOGAT ou a glutamato DHase (GDH), especialmente pela primeira (SOUSA; FERNANDES, 2006).

O nitrogênio é disponibilizado no solo, sob condições naturais, por meio da decomposição dos resíduos animais e vegetais e/ou da fixação biológica, sendo que sua maior fonte, mais de 90%, está na matéria orgânica do solo. Somente após a mineralização da matéria orgânica pelos microrganismos é que o nitrogênio fica disponível e pode ser absorvido. A quantidade liberada é variável e dependente das práticas de manejo e das condições ambientais. Mesmo que ocorra de maneira constante, a liberação é normalmente muito lenta para atender as necessidades de uma cultura de milho em crescimento, por exemplo, apenas 2 a 3% de N é convertido na forma assimilável pelas plantas por ano (BELOW, 2002).

Como a maioria dos solos não tem nitrogênio suficiente em forma disponível para sustentar os níveis de produção desejados, justifica-se sua adição através de fertilizantes químicos para otimizar o crescimento e o rendimento do milho. A fração de nitrogênio e de outros nutrientes necessários para produção da cultura depende de quanto do nutriente é extraído do solo durante o ciclo da planta e da produção de grãos e palhada pela cultura (COELHO; FRANÇA, 1995).

O acúmulo de macronutrientes, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumenta com o avanço dos estádios fenológicos do milho até a maturidade fisiológica, quando são obtidos os acúmulos máximos. A maior exigência para produção de grãos de milho é de nitrogênio, em que a quantidade necessária para produzir uma tonelada é de 27,7 kg de N (VON PINHO et al., 2009). Dentre os nutrientes, a adubação nitrogenada exige manejo mais acurado devido às suas inúmeras reações e ao seu ciclo complexo no solo. Ademais, apenas uma parte do nitrogênio mineral aplicado é absorvido pelas plantas, enquanto outra parte é perdida do sistema solo-planta por processos de lixiviação, volatilização, erosão, desnitrificação, imobilização ou incorporação na matéria orgânica do solo (YADAV et al., 2017).

A determinação do momento e da quantidade de nitrogênio que deve ser aplicada são estratégias de manejo fundamentais para atender às demandas da planta pelo nutriente, potencializar a eficiência de uso e minimizar suas perdas, buscando aumentar a viabilidade econômica, a produtividade das culturas e a qualidade ambiental (ABASSI et al., 2012).

Segundo Coelho et al. (2007) as recomendações de adubação na cultura do milho devem ser realizadas considerando as condições edafoclimáticas, o sistema de cultivo, a época de semeadura, a cultura antecessora e seu manejo, o potencial produtivo da cultivar (extração/exportação), a época e o modo de aplicação do N, a fonte de nitrogênio e os aspectos econômicos e operacionais. Ainda, outras informações podem otimizar a recomendação como: a estimativa do potencial de mineralização do N do solo; a quantidade de N mineralizado ou imobilizado pela cultura de cobertura; o requerimento do N pela cultura para atingir um rendimento projetado; e a expectativa da eficiência de recuperação do N disponível das diferentes fontes.

Quatro critérios são considerados essenciais para desenvolvimento de um sistema de indicação de N para o milho: produtividade de grãos esperada, teor de matéria orgânica do solo; espécie de planta de cobertura antecessora; e eficiência de absorção do N aplicado. A produtividade esperada define a quantidade de N demandada pela cultura, enquanto

a matéria orgânica e a planta de cobertura antecessora afetam o suprimento de N para o milho. Com base na diferença entre o suprimento de N e a demanda pela cultura determina-se a quantidade de N a ser aplicada, considerando a eficiência do adubo nitrogenado a ser utilizado (FONTOURA; BAYER, 2009).

A recomendação é que a adubação nitrogenada seja parcelada: parte distribuída no sulco de semeadura, junto com o fósforo e o potássio, e parte em cobertura, na fase em que a planta necessita mais desse nutriente. A adubação de semeadura ou arranque varia de 10 a 30 kg ha⁻¹ de N, baseada no histórico da área quanto a cultura antecessora ao milho, e não depende da produtividade esperada. Dentro dessa variação, a dose aplicada na semeadura poderá ser a menor se a cultura anterior for uma leguminosa e poderá ser a maior se for uma área em que exista grande quantidade de palhada e elevada relação C/N (SBCS, 2017), com a finalidade de evitar o comprometimento da quantidade inicial de N disponível devido à imobilização de N mineral pela biomassa microbiana.

A concentração de N na zona radicular favorece o rápido estabelecimento inicial da planta, maior índice de área foliar, estabelecimento de um maior número de grãos por espiga e, conseqüente, expressão do potencial genético da cultivar para um elevado rendimento de grãos. As baixas doses de N na semeadura são devido à baixa demanda inicial pelo milho, evitando com isso problemas de excesso de sais no sulco de semeadura e perdas por lixiviação (COELHO, 2007).

No Paraná, a adubação nitrogenada de cobertura deve ser realizada considerando a expectativa de produtividade e a cultura anterior cultivada, e pode ou não ser parcelada, a depender da textura do solo e da dose que será aplicada. Em solos arenosos, quando a dose for superior a 80 kg ha⁻¹ recomenda-se parcelar, aplicando quando as plantas estiverem no estágio V4 a V6 e no V7 a V8. Em solos argilosos, realizar uma aplicação nos estádios V4 a V6 em período de baixa pluviosidade (SBCS, 2017).

O milho segunda safra, cultivado sem irrigação, possui algumas características particulares quanto à adubação nitrogenada, sendo em geral, em menor quantidade que a praticada no cultivo de verão. Incertezas climáticas, em especial, baixa disponibilidade hídrica, e a implantação da cultura em sucessão à soja, leguminosa que pode disponibilizar N no solo após a decomposição dos resíduos culturais, são os fatores que mais dificultam a determinação da dose econômica viável a ser aplicada no milho segunda safra (ZOZ et al., 2019).

Na semeadura do milho segunda safra, alguns produtores usam a formulação da adubação de semeadura que sobrou do cultivo da soja. Além da baixa concentração de

nitrogênio nessa formulação, esses produtores não realizam a adubação nitrogenada em cobertura. A ausência do N em cobertura e a alta demanda pelo milho são fatores que limitam a produtividade do cereal em diversos sistemas de produção, principalmente nos conservacionistas, que requerem quantidades maiores de nitrogênio devido aos processos de imobilização originados pela decomposição da palha (GOES et al., 2012).

Em levantamento realizado em lavouras de milho segunda safra de alta produtividade cultivadas nos estados da região Centro-Oeste, em São Paulo e Paraná, verificou-se que das 733 que usam fertilizantes na semeadura, 62% realizaram adubação em cobertura. A dose média de nitrogênio utilizada na adubação de cobertura nas produtividades que atingiram 5 a 6 mil kg ha⁻¹ de grãos foi de 43 kg ha⁻¹. Nas produtividades de 6 a 7 mil kg ha⁻¹, a dose média de N aplicado em cobertura foi de 47 kg ha⁻¹. Em produtividades de 7 a 8 mil kg ha⁻¹, a dose média foi de 55 kg ha⁻¹ de N. Nas áreas que atingiram produtividades acima de 8 mil kg ha⁻¹, foi constatada aplicação de 56 kg ha⁻¹ de N (CRUZ et al., 2010).

Segundo Broch et al. (1999), é necessário a aplicação total de 75 kg ha⁻¹ de N no milho com uma expectativa de produção de 4.800 kg ha⁻¹, cultivado em sucessão à soja. Mar et al. (2003) constataram que a aplicação das doses de 90 a 120 kg ha⁻¹ de N, proporcionaram as maiores produtividades do milho safrinha (> 6.000 kg ha⁻¹), após soja, em plantio direto, sendo recomendado o parcelamento em 1/3 do N na semeadura e 2/3 em cobertura, quando as plantas apresentam quatro a oito folhas totalmente expandida. Kappes et al. (2009) também verificaram produtividade do milho superior a 6.000 kg ha⁻¹, com aplicação de nitrogênio em cobertura na dose de 70 kg ha⁻¹ na segunda safra em sucessão à soja.

Alguns trabalhos foram desenvolvidos para avaliar o efeito de fontes de N e doses aplicadas em cobertura no milho segunda safra. Avaliando o efeito doses de nitrogênio em cobertura (0, 30, 60, 120 kg ha⁻¹) no milho segunda safra em sucessão à soja Soratto et al. (2010), obtiveram incremento linear da produtividade do milho, cuja maior produtividade de grãos foi 4.904 kg ha⁻¹ com 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, independente da fonte utilizada. Motta e Portugal Filho (2016) também constataram efeito de doses de nitrogênio em cobertura (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) sobre a produtividade do milho segunda safra após a soja, sendo a máxima produtividade alcançada de 6.073 kg ha⁻¹ de grãos com uso de 71,9 kg ha⁻¹ de N.

Gazola et al. (2014) avaliaram a aplicação foliar de aminoácidos associada à aplicação de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) no desempenho produtivo e nas características agronômicas da cultura do milho segunda safra e verificaram que os aminoácidos não influenciaram o milho, mas o nitrogênio na dose de 149,5 kg ha⁻¹ promoveu acréscimo estimado de 46% em relação ao tratamento controle.

Estudando o efeito da adubação nitrogenada em cobertura na produção de milho segunda safra em área comercial, Raasch et al. (2016) aplicaram doses de nitrogênio (0, 30, 60, 90 e 120 kg N ha⁻¹) em V4 e constataram que a máxima produtividade de grãos estimada foi de 8.398 kg ha⁻¹, obtida com a aplicação de 78,6 kg ha⁻¹ de N. Souza et al. (2015) determinaram a viabilidade econômica da utilização de fontes e doses de nitrogênio 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N) aplicadas em V6 sobre a produtividade do milho segunda safra em SPD. Observaram que a adubação nitrogenada em cobertura na dose de 100 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio ou 150 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia proporcionaram as maiores lucratividades, com 6.000 e 6.474 kg ha⁻¹ de grãos, respectivamente.

As máximas produtividades obtidas com variação nas doses de nitrogênio aplicadas são reflexo da diversidade de ambientes nos quais o milho é cultivado no país, da complexidade dos fatores que influenciam a disponibilidade de nitrogênio no solo e da eficiência das adubações (HURTADO et al., 2009). Portanto, pesquisas com o objetivo de manejar adequadamente o N para sua utilização de forma mais eficaz são necessárias, pois diversos fatores interferem na eficiência do uso do nitrogênio pela cultura, como condições climáticas, tipo de solo e capacidade de extração de nutrientes pelas plantas durante o cultivo (RAASCH et al., 2016) e a competição interespecífica em cultivos consorciados.

2.4 ADUBAÇÃO NITROGENADA NO MILHO EM CONSÓRCIO COM PLANTAS DE COBERTURA

O consórcio de culturas é uma prática agrícola que consiste no cultivo de mais de uma espécie em uma mesma área ao mesmo tempo, as quais competem durante todo ou parte do ciclo de desenvolvimento (ALBUQUERQUE et al., 2012; RAMOS JUNIOR, et al., 2019). O uso do consórcio é crescente por ser considerado uma importante alternativa para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícolas tropicais. A maior diversidade de espécies e as melhorias do ambiente de produção ao longo do tempo (CALONEGO et al., 2011; RAMOS JUNIOR et al., 2019) promovem o aumento na eficiência de uso da terra e dos recursos naturais, como água, luz e nitrogênio, favorecendo o sistema de produção (BUSATO; BUSATO, 2011; MAO et al., 2012).

A adoção do cultivo consorciado entre o milho segunda safra com plantas de cobertura, braquiária ou crotalária, tornou-se uma opção para favorecer o sistema de produção sem comprometer a cultura comercial (KAPPES et al., 2015; SOUZA et al., 2019). Entretanto o sucesso dessa prática depende do conhecimento do comportamento das plantas e dos fatores

de competição para a realização de adequações no manejo das culturas (ALMEIDA et al., 2017).

Um aspecto importante a ser considerado no cultivo do milho consorciado é a adequação do manejo da adubação nitrogenada. Visto que no consórcio a competição interespecífica pelo nitrogênio é maior, a adubação deve ser realizada visando assegurar a produtividade dos grãos sem comprometer a produção de palha pela cultura de cobertura (LANGE et al., 2014). Como ocorre na cultura do milho, o nitrogênio é o principal macronutriente limitante da produtividade das forrageiras, em especial do gênero *Urochloa* (JAKELAITIS et al., 2005), restringindo a produção quando não suprido durante os estádios de desenvolvimento das espécies consorciadas.

Portanto, desde que sejam utilizadas técnicas de manejo recomendadas pela pesquisa, o consórcio entre milho e *Urochloa* spp. não compromete a produtividade do milho (LARA-CABEZAS et al., 2007; COSTA et al., 2012; BORGHI et al., 2013; ALMEIDA et al., 2018).

Avaliando efeitos de doses de N em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) sobre o milho safra cultivado em consórcio com *Urochloa brizantha*, Jakelaitis et al. (2005), verificaram que o cultivo consorciado não influenciou a produtividade do milho. A elevação das doses de N aumentou a produtividade de grãos, o peso de mil grãos, o teor de clorofila total, a concentração do N orgânico foliar das culturas e a produção de forragem pela braquiária. E não houve interação entre os fatores estudados sobre a produtividade.

Costa et al. (2012), estudando a produtividade de grãos de milho e de palha do consórcio entre milho safra e espécies de braquiária (*Urochloa brizantha* e *U. ruziziensis*), submetidos a doses de nitrogênio em cobertura (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) em SPD, constataram que o crescimento vegetativo, os componentes da produção e a produtividade de grãos do milho não foram influenciados pelos consórcios. A adubação nitrogenada em cobertura aumentou linearmente o índice de clorofila foliar, os teores de nitrogênio, fósforo e enxofre, bem como os componentes da produção e a produtividade de grãos, mas não interagiu com os cultivos consorciados.

O suprimento do N na quantidade e no momento adequado com o objetivo de favorecer o rápido estabelecimento da cultura do milho e sombreamento da forrageira é um manejo importante para minimizar a competição interespecífica e contribuir para o sucesso do consórcio (ALMEIDA et al., 2017). Adicionalmente, o fornecimento do N em cobertura em maiores doses pode amenizar eventuais perdas de produtividade do milho, decorrentes de elevada competição interespecífica (RESENDE et al., 2008).

Estudando o efeito de doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) no milho safra solteiro ou consorciado com *U. ruziziensis* Almeida et al. (2017), verificaram que nas doses de N abaixo de 100 kg ha⁻¹, houve concorrência entre a forrageira e o milho, resultando na diminuição da produtividade de milho no consórcio. A partir de 100 kg ha⁻¹ de N, não se verificou redução de produtividade no milho consorciado com *U. ruziziensis*. Ainda segundo os autores, não ocorreu efeito residual da adubação nitrogenada na produção de biomassa da forrageira, entretanto após a colheita do milho a massa seca produzida no inverno foi incrementada. Esta condição favorece a manutenção da qualidade e da estabilidade do SPD e a cultura cultivada em sucessão (FRANCHINI et al., 2014).

Testando o efeito de doses (0, 25, 50 e 75 kg ha de N) e fontes de nitrogênio em cobertura na cultura do milho segunda safra consorciado com *Urochloa brizantha* sobre os atributos morfológicos e produtivos da cultura do milho, Lange et al. (2014) inferiram que a maior competição por N em consórcio, pode ter sido o fator que limitou o diâmetro de espigas, diâmetro de sabugo, comprimento de espigas, número de fileiras de grãos por espiga e produtividade de grãos. Além disso, o cultivo do milho sobre a palha de arroz, cultura antecessora que apresenta elevada relação C/N, pode ter imobilizado o N e provocado carência do nutriente, inclusive com redução de produtividade de grãos, evidenciando a importância da aplicação de nitrogênio no milho segunda safra em SPD.

Batista et al. (2011) avaliando plantas forrageiras (*Urochloa brizantha*, *U. decumbens*, *U. ruziziensis* e *Panicum maximum*) consorciadas com o milho segunda safra sob doses de adubação nitrogenada de cobertura (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹), verificaram que o acúmulo de matéria seca das forrageiras intensifica-se após a colheita do milho safrinha. Quando as forrageiras são semeadas na entrelinha do milho, a adubação nitrogenada em cobertura não interfere no acúmulo de matéria seca e de nutrientes pelas forrageiras, e o consórcio não afeta a produtividade de grãos de milho safrinha e não há interação dos fatores sobre a produtividade.

No cultivo consorciado de milho com leguminosas, o cereal possui vantagem fisiológica devido ao seu metabolismo de fixação de carbono (C4) e acúmulo de matéria seca em altas temperaturas, porte alto e rápido crescimento inicial, em comparação às espécies de metabolismo C3, como as crotalárias (OLIVEIRA et al., 2010). Essa é uma das razões da não interferência negativa na produtividade do milho consorciado com leguminosas, além do uso da consorciação na mesma área promover benefícios técnicos e econômicos maiores nos anos subsequentes (HEINRICHS et al., 2005; CHIEZA et al., 2009).

Além da possibilidade de não prejudicar a produtividade do milho, o consórcio com leguminosas pode otimizar a eficiência de uso da terra (TAKELE et al., 2017),

minimizar a necessidade de aplicação de nitrogênio no milho (NAIK et al., 2017), aumentar a fertilidade do solo através da fixação de nitrogênio atmosférico pelas leguminosas e da ciclagem de outros nutrientes e aumentar a conservação do solo através da maior quantidade de cobertura formada (ANANTHI et al., 2017).

O manejo da adubação nitrogenada do milho segunda safra em consórcio com plantas do gênero *Crotalaria* é um tema ainda pouco explorado pela pesquisa. De acordo com Oliveira et al. (2010), a produtividade de grãos de milho solteiro que recebeu 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura foi estatisticamente igual à obtida no consórcio milho e crotalária e a mesma dose de N. Ademais, a produtividade de grãos de milho em monocultivo na ausência de nitrogênio não diferiu da produtividade de grãos no consórcio milho e crotalária sem aplicação de nitrogênio.

Segundo Kappes e Zancanaro (2015) o consórcio de milho com crotalárias pode ser viável, desde que a demanda de nitrogênio pelo milho seja suprida por fertilizante mineral, pois a demanda desse nutriente pelo milho não é atendida pelas crotalárias dentro do mesmo ciclo de cultivo. O problema parece não estar associado à quantidade de nitrogênio ofertada pelas crotalárias, mas ao sincronismo não compatível de fornecimento do nutriente com a marcha de absorção pelo milho, que é intensa na fase vegetativa de desenvolvimento da cultura, momento de baixa oferta de nitrogênio pelas crotalárias, considerando semeadura simultânea ao milho.

Avaliando formas de manejo do consórcio entre milho e crotalária, que possibilitassem otimizar a produção de massa vegetal, sem comprometer o potencial produtivo do cereal, Chieza et al. (2017), verificaram que, o consórcio milho segunda safra e crotalária semeada 14 dias após o milho e manejada (cortada e deixada sobre o solo) aos 67 dias após a emergência do cereal mais a adição de 70 kg ha⁻¹ de N em cobertura via torta de mamona, proporcionou maior produtividade de grãos comparado com o milho em monocultivo com mesma quantidade de N. Essa performance foi alcançada mesmo a crotalária apresentando crescimento reduzido, com menor aporte de matéria seca da parte aérea que a do cultivo de verão. A semeadura simultânea da crotalária e do milho, com o manejo da crotalária aos 29 dias após a emergência do milho, não diferiu estatisticamente da produtividade de grãos do milho em monocultivo adubado com 70 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura, manejo que possibilitou as maiores produtividades no verão. Resultados que indicam que a crotalária pode prover nitrogênio ao milho, dependendo da época e do manejo realizado.

A produtividade do milho segunda safra consorciado com *Crotalaria spectabilis* semeada junto com o fertilizante na linha do milho adubado com 80 kg ha⁻¹ de N

em cobertura foi estatisticamente igual à do milho cultivado em monocultivo com a mesma dose de N (KAPPES; ZANCANARO, 2015). Esses autores acrescentam que os maiores benefícios das coberturas vegetais em consórcios com o milho são deixados para a cultura em sucessão, caso da soja, em que a produtividade de grãos foi 14,5% maior após o cultivo milho em consórcio com crotalária do que no milho solteiro, ambos com 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

Embora a presença da crotalária em consórcio com o milho possa beneficiar o sistema, salienta-se a importância da semeadura e do manejo no momento adequado conforme a época e a região de cultivo, com a finalidade de não comprometer a produtividade de grãos e a produção da biomassa (CHIEZA et al., 2017), bem como favorecer a qualidade e sustentabilidade do sistema de produção. Sistemas de consorciação em que a crotalária é semeada nas entrelinhas do milho são recomendados porque permitem a produção de palha, não reduzem a produtividade de grãos de milho e não afetam as operações de colheita (SOUZA et al., 2019).

2.5 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), provavelmente, é originária do Continente Asiático mais precisamente da região antigamente conhecida como Manchuria, hoje pertencente ao atual território da China. Considerada uma das culturas mais antigas do mundo, seu cultivo é datado há pelo menos 5 mil anos. Da Manchuria, foi levada para regiões adjacentes e para o Continente Europeu. Chegou ao Continente Americano e posteriormente ao Brasil, onde foi introduzida na Bahia em 1882, disseminando-se para São Paulo e Rio Grande do Sul (GAZZONI, 2018).

A expansão da cultura para a região central do Brasil só foi possível com o desenvolvimento de um conjunto de tecnologias específicas, como a utilização de cultivares produtivas e adaptadas e o adequado manejo da fertilidade e do preparo dos solos no Cerrado (SILVA, 2018). Atualmente, o cultivo da soja se expandiu além da região sul e central do Brasil, sendo a região Centro-Oeste a que apresenta a maior área, próximo aos 16 milhões de hectares (CONAB, 2020c).

A soja é uma planta herbácea, dicotiledônea, pertencente à família *Fabaceae*. Seu grão apresenta elevado teor proteico, cerca de 40 %, de óleo, próximo à 20%, e por isso possui versatilidade de usos, podendo ser utilizada na alimentação humana e animal e na produção de diversos produtos industrializados e de biocombustível (SEDIYAMA, 2009).

A produção de soja é uma das atividades de maior importância socioeconômica no mundo devido ao desenvolvimento e estruturação de um sólido mercado internacional relacionado com o comércio de produtos desse complexo agroindustrial, à consolidação da oleaginosa como importante fonte de proteína vegetal, à diversidade de usos para fabricação de produtos derivados e à consequente geração de empregos e divisas (HIRAKURI et al., 2014).

A soja é a cultura que mais cresceu nos últimos anos. A produção mundial da oleaginosa na safra 2018/2019 foi de 358 milhões de toneladas, da qual exportou-se cerca de 148 milhões de toneladas (USDA, 2020). O Brasil é o segundo maior produtor mundial, com 117 milhões de toneladas produzidas na safra 2018/2019, com perspectiva de alcançar as 126 milhões de toneladas na safra 2019/2020 ocupando 59 % da área cultivada com grãos do país, além de ser o maior exportador mundial com 75 milhões de toneladas na última safra. (CONAB, 2020d).

De acordo com Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços as exportações brasileiras do complexo soja (grão, farelo e óleo) somaram US\$ 40,963 bilhões em 2018, 29,6% acima do total vendido ao exterior em 2017, quando somou US\$ 31,603 bilhões (MDIC, 2019). O complexo soja teve participação de 46,1% (US\$ 4,52 bilhões) do valor total das exportações do agronegócio brasileiro em maio de 2019. As vendas externas de soja em grão foram de US\$ 3,76 bilhões, de farelo de US\$ 585,92 milhões, enquanto as exportações de óleo chegaram a US\$ 168,75 milhões. A expressiva participação do complexo na balança comercial comprova a grande importância da sojicultura para o país (MAPA, 2019).

Da área cultivada de soja no país, o Paraná responde por 5,4 milhões de hectares (15%). Na safra 2018/2019, foi o terceiro maior produtor do grão no Brasil com mais de 16 milhões de toneladas (CONAB, 2020c). A produtividade média no estado aumentou ao longo dos últimos dez anos, saindo de 2.337 kg ha⁻¹ para 2.989 kg ha⁻¹ (2018/2019), fato que tem contribuído para o aumento gradativo da produção.

2.6 DIVERSIFICAÇÃO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Com o aumento contínuo da população mundial tem-se uma crescente demanda por produtos agrossilvipastoris. Com a evolução tecnológica e o intuito de suprir essa demanda, em geral, as atividades agrícolas, pecuárias e florestais desenvolvidas em todo o mundo, passaram a ser realizadas de maneira intensificada, independente e dissociada (BALBINO et al., 2011).

A adoção de práticas de produção intensivas associadas ao monocultivo e preparo convencional do solo, ocasionam perdas e degradação das propriedades biológicas,

químicas e físicas do solo, reduzindo a sua capacidade produtiva (LEMOS et al., 2003). Há uma preocupação da política ambiental mundial na busca de soluções para mitigar os impactos das atividades antrópicas sobre o meio ambiente sem comprometer o desenvolvimento socioeconômico da população (FERNANDES; FINCO, 2014).

Práticas de manejo relacionadas com a manutenção e com a conservação dos solos tornaram-se cada vez mais comuns e necessárias para preservar e aumentar a capacidade produtiva, mantendo a viabilidade econômica da produção agropecuária, o desenvolvimento socioeconômico e a sustentabilidade dos recursos naturais (VILELA et al., 2011).

O principal sistema de produção de grãos das regiões agrícolas do Centro Oeste, Sudeste, parte sudeste da região Norte e parte Noroeste da Região Sul é a sucessão de culturas soja/milho (ROSCOE; MIRANDA, 2013). O uso contínuo de sucessões ao longo dos anos pode trazer problema de empobrecimento do solo, infestação de plantas daninhas de difícil controle e maior ocorrência de pragas e doenças, com consequente redução no rendimento das culturas (DEBIASI, et al., 2015).

Nesse contexto, torna-se cada vez mais importante que haja uma diversificação das espécies cultivadas nos sistemas de produção nos quais a soja está inserida, com a finalidade de mitigar os problemas causados pela sucessão contínua. Essa diversificação deve promover o aumento da produção de palha para cobertura do solo, a diversificação da distribuição dos sistemas radiculares, pivotantes e fasciculados, de forma alternada no tempo, a manutenção ou aumento dos teores de carbono do solo, e o incremento da densidade macro e microbiológica (MACEDO, 2009).

O Sistema Plantio Direto é uma das mais importantes tecnologias para a produção agrícola sustentável, o qual se baseia na rotação de culturas, na cobertura superficial permanente e no não-revolvimento do solo (FREITAS, 2005; CÂMARA, 2015).

A sustentabilidade e eficiência do Plantio Direto estão relacionadas, dentre outros fatores, à produção e manutenção da palha produzida pelas culturas para cobertura do solo nas diversas condições edafoclimáticas (TORRES et al, 2008; ALBUQUERQUE, et al 2013). O milho segunda safra deixa sobre o solo considerável quantidade de palha após sua colheita, podendo ser essa quantidade aumentada quando o cereal é cultivado em consórcio com plantas de cobertura (GARCIA et al., 2014; ARF et al., 2018), condição que pode influenciar o crescimento e a produtividade da soja cultivada em sucessão (RIBEIRO et al., 2018).

Avaliando o efeito de resíduos de espécies consorciadas ou não com milho segunda safra sobre a produtividade da soja e do milho cultivados em sucessão Ceccon et al. (2013), verificaram que a biomassa seca da parte aérea foi maior quando o milho estava em

consórcio com *Panicum maximum* (10,7 mil kg ha⁻¹), *Urochloa brizantha* (10,1 mil kg ha⁻¹) e *Urochloa ruziziensis* (9,8 mil kg ha⁻¹) do que o milho solteiro (4,0 mil kg ha⁻¹). Nos tratamentos consorciados, houve aumento na porcentagem de solo coberto com os resíduos vegetais e preservação dos nutrientes no solo sem reduzir a produtividade de palha e grãos de milho. Além disso, o rendimento de grãos de milho e soja em sucessão foram maiores após o cultivo de *U. ruziziensis* solteira e do milho em consórcio com *U. ruziziensis*.

O consórcio de milho segunda safra com culturas de cobertura, especialmente as do gênero *Urochloa*, é considerado uma alternativa para viabilizar o Sistema Plantio Direto. Essas forrageiras produzem elevada quantidade de fitomassa para cobertura do solo mesmo em ambientes de baixa fertilidade e sob condições climáticas restritivas (TORRES et al., 2014). Além disso, formam biomassa com alta relação C/N e lignina/N (TIMOSSO et al., 2007), o que confere maior persistência da palhada, característica desejável nas condições em que há rápida decomposição da cobertura de solo.

A permanência sobre a superfície do solo de restos vegetais em Sistemas de Plantio Direto, contribui para manutenção e melhoria da qualidade do solo, pois o protege da radiação solar direta, reduz a amplitude térmica, diminui o impacto das gotas de chuva, perdas por lixiviação e erosão, favorece a manutenção da umidade (LEITE et al., 2010) e auxilia no controle de plantas daninhas (LIMA et al., 2014).

Avaliando a infestação de plantas daninhas após cinco anos de cultivo com milho solteiro ou consorciado com *Urochloa ruziziensis* na segunda safra, Mechi et al. (2018), verificaram que no ano de cultivo, o milho em consórcio com braquiária aumenta a massa total de resíduos e inibe a presença de plantas daninhas. A reinfestação por *Coniza* spp. ocorre após um ano sem consórcio e por *Digitaria* spp. após dois anos sem consórcio, e em menores quantidades do que na sucessão soja e milho segunda safra solteiro.

Concenço et al. (2015), analisando a composição da comunidade infestante na soja após um e três anos de cultivos na segunda safra (milho com 90 cm entrelinhas; milho com 45 cm entrelinhas; milho com 90 cm e *U. ruziziensis*; *U. ruziziensis*; feijão-caupi), concluíram que a braquiária implantada na segunda safra, solteira ou consorciada, contribuiu para menor infestação de plantas daninhas no cultivo de soja subsequente, tornando-a uma cultura adequada para entrar no sistema de sucessão com a cultura da soja.

As leguminosas apresentam resíduos com baixa relação C/N e elevada taxa de decomposição, de forma que possuem menor tempo de cobertura de solo em comparação com as gramíneas (TEIXEIRA et al., 2009). Outra característica das leguminosas é que possuem capacidade de fixar nitrogênio atmosférico por meio da simbiose com bactérias do

gênero *Rhizobium*, disponibilizando-o para as culturas de interesse econômico (TEODORO et al., 2011).

As leguminosas também são capazes de realizar a ciclagem de outros macronutrientes (TEIXEIRA et al., 2009; SORATTO et al., 2012), de aportar biomassa ao sistema (PEREIRA et al., 2012) e possuir, no caso do gênero *Crotalaria*, algumas espécies com ação antagônica sobre nematoides (INOMOTO et al., 2008), com consequente, efeito positivo sobre a produtividade de soja (LEANDRO; ASMUS, 2015).

A inclusão de plantas de cobertura, especialmente gramíneas, na rotação de culturas em Sistema Plantio Direto, tem sido preconizada para o adequado manejo físico, químico e biológico do solo (SILVA et al., 2011; SANTOS et al., 2008). A ausência de preparo durante o ciclo da pastagem, a presença de um denso sistema radicular atuando como agente agregante e o aumento da atividade da macrofauna do solo (MARCHÃO et al., 2007), contribuem para formação de palha suficiente na superfície do solo, manutenção ou aumento dos teores de matéria orgânica, formação de poros biológicos e melhoria da sua estrutura (ANDRADE et al., 2009).

Com o objetivo de avaliar os atributos físicos do solo e o crescimento de raízes da soja após cultivos de segunda safra (*Urochloa ruziziensis*, consórcio de milho com *U. ruziziensis*, milho solteiro e feijão-caupi) Ribeiro et al. (2019), verificaram que cultivos de segunda safra promovem mudanças nos atributos físicos do solo, por meio do controle e/ou prevenção da compactação e aumento na porosidade nas camadas superficiais e subsuperficiais do solo. A *U. ruziziensis* melhora a qualidade do solo de modo a proporcionar maior crescimento de raízes de soja cultivada em sucessão, o que pode levar ao aumento da produtividade de grãos.

A biomassa aérea e radicular de braquiárias cultivadas em consórcio ou não com o milho segunda safra pode aumentar a macroporosidade e porosidade total do solo. Essas alterações nos atributos físicos do solo aumentam a produtividade da soja cultivada em sucessão, de modo que os maiores valores, superiores a 4.500 kg ha⁻¹, são alcançados após o cultivo em consórcio (CHIODEROLI et al., 2012; RIBEIRO et al., 2019).

Balbinot Junior et al. (2017) estudando o efeito de raízes e palha de *Urochloa brizantha* e *U. ruziziensis*, cultivadas como plantas de cobertura do solo na segunda safra, observaram que o cultivo de espécies de gramíneas aumentou em 81% o rendimento de grãos de soja em comparação com o pousio. Esses autores acrescentam que os efeitos das raízes são mais expressivos que os da palha, porém a presença combinada de raízes e palha confere melhor desempenho à soja cultivada em sucessão do que a presença isolada desses resíduos.

Plantas de cobertura promovem a agregação, estruturação e permeabilidade do solo. Esses fatores podem favorecer o desenvolvimento do sistema radicular de culturas comerciais e permitir a maior exploração do perfil do solo, proporcionando o desenvolvimento do sistema radicular até as camadas mais profundas, a maior absorção de água e nutrientes, e o aumento da produção do sistema (FOLONI et al., 2006; CHIODEROLI et al., 2012;). Entretanto, esses benefícios podem variar em função das espécies utilizadas nos sistemas de rotação ou sucessão de culturas (ANDRADE et al., 2009; SILVA et al., 2011).

O cultivo do milho em consórcio com plantas de cobertura, desde que manejado conforme as recomendações de pesquisa, pode influenciar positivamente o desempenho agrônômico da soja em sucessão (CHIODEROLLI, et al., 2012; ALVES et al., 2013; CORREIA et al., 2013), sendo que em anos com deficiência hídrica, o benefício das culturas de segunda safra sobre a produtividade da soja pode ser mais relevante (RIBEIRO et al., 2018).

REFERÊNCIAS

- ABBASI, M. K.; TAHIR, M. M.; SADIQ, A.; IQBAL, M.; ZAFAR, M. Yield and nitrogen use efficiency of rainfed maize response to splitting and nitrogen rates in Kashmir, Pakistan. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 2, p. 448-457, 2012.
- ALBUQUERQUE, A. W. D.; SANTOS, J. R.; MOURA FILHO, G.; REIS, L. S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 721-726, 2013.
- ALBUQUERQUE, J. D. A.; SEDIYAMA, T.; ALVES, J. M. A.; SILVA, A. A. D.; UCHÔA, S. C. P. Cultivo de mandioca e feijão em sistemas consorciados realizado em Coimbra, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 532-538, 2012.
- ALMEIDA, R. E. M.; FAVARIN, J. L.; OTTO, R.; PIEROZAN, C.; OLIVEIRA, S. M.; TEZOTTO, T.; COCCO LAGO, B. Effects of nitrogen fertilization on yield components in a corn-palisadegrass intercropping system. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 3, p. 352, 2017.
- ALMEIDA, R. E. M. D.; FAVARIN, J. L.; OTTO, R.; FRANCO, H.; REIS, A. F. B.; MOREIRA, L. A.; TRIVELIN, P. Nitrogen recovery efficiency for corn intercropped with palisade grass. **Bragantia**, v. 77, n. 4, p. 557-566, 2018.
- ALVES, V. B.; PADILHA, N. D. S.; GARCIA, R. A.; CECCON, G. Milho safrinha consorciado com *Urochloa ruziziensis* e produtividade da soja em sucessão. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 280-292, 2013.
- ANANTHI, T.; UGC, P. D. F. A review on maize-legume intercropping for enhancing the productivity and soil fertility for sustainable agriculture in India. **Advances in Environmental Biology**, v. 11, n. 5, p. 49-63, 2017.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 411-418, 2009.
- ARF, O.; MEIRELLES, F. C.; PORTUGAL, J. R.; BUZETTI, S.; DE SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F. Benefícios do milho consorciado com gramínea e leguminosas e seus efeitos na produtividade em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 3, p. 431-444, 2018.
- ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; MACHADO, J. A. D.; DE OLIVEIRA, L.; SOUZA, Â. R. L. O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 515-540, 2019.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; SILVA, V. P.; MORAES, A. D.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHIN, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de

sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1-12, 2011.

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.

BARBOSA NETO, J. F.; TERRA, T. F.; WIETHÖLTER, P.; BISPO, N. B.; MELO SERENO, M. J. C. Milho. *In*: BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 575-598.

BATISTA, K.; DUARTE, A. P.; CECCON, G.; MARIA, I. C. D.; CANTARELLA, H. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em forrageiras consorciadas com milho safrinha em função da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1154-1160, 2011.

BELOW, F. E. Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho. **Informações agronômicas**, Piracicaba, n. 99, p. 7-12, 2002.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; NASCENTE, A. S.; MARTINS, P. O. Intercropping time of corn and palisadegrass or guineagrass affecting grain yield and forage production. **Crop Science**, v. 53, n. 2, p. 629-636, 2013.

BROCH, D.L. Milho safrinha: resultados de pesquisa e experimentação. *In*: FUNDAÇÃO MS PARA PESQUISA E DIFUSÃO DE TECNOLOGIAS AGROPECUÁRIAS, 1999. Maracajú. **Anais [...]**. Maracajú: Fundação MS, 1999. p.32-35.

BUSATO, C.; BUSATO, C. C. M.; SANTO, I. F. E. S. Crescimento inicial da cultura do milho em cultivo consorciado. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, v. 7, p. 307-316, 2011.

CALONEGO, J. C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2183-2190, 2011.

CÂMARA, G. M. S. Preparo do solo e plantio. *In*: SILVA, A. F.; SEDIYAMA, T.; BOREM, A. **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 66-109.

CASÃO JUNIOR, R. **Plantio direto no Sul do Brasil: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista**. Londrina: IAPAR, 2012. 77 p.

CECCON, G.; STAUT, L. A.; SAGRILO, E.; MACHADO, L. A. Z.; NUNES, D. P.; ALVES, V. B. Legumes and forage species sole or intercropped with corn in soybean-corn succession in Midwestern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 204-212, 2013.

CHIEZA, E. D.; GUERRA, J. G. M.; ARAÚJO, E. D. S.; ESPÍNDOLA, J. A.; FERNANDES, R. C. Produção e aspectos econômicos de milho consorciado com Crotalaria juncea L. em diferentes intervalos de semeadura, sob manejo orgânico. **Revista Ceres**, v. 64, n. 2, p. 189-196, 2017.

CHIEZA, E. D.; LOVATO, T.; RODRIGUES, J.; PIZZANI, R.; PIAIA, Â.; TONIN, J.; SCHAEFER, P. E.; JONER, G.; MACHADO, D. S. Produtividade do milho e produção de fitomassa em cultivo solteiro ou consorciado com leguminosas sob diferentes formas de adubação. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 1932-1934, 2009.

CHIODEROLI, C. A.; DE MELLO, L. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E.; SILVA, J. O.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 37-43, 2012.

CHIODEROLI, C. A.; DE MELLO, L. M.; GRIGOLLI, P. J.; SILVA, J. O. D. R. Consorciação de braquiárias com milho outonal em plantio direto sob pivô central. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 6, p. 1101-1109, 2010.

COELHO, A. M. Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho. **Circular técnica**, 96. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. 2. ed. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 71, p. 1-9, 1995.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 27 jul. 2020d.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Milho Segunda Safra - Série Histórica: safras 1976/77 a 2018/19**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>>. Acesso em: 22 jul. 2020b.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Milho Total – Série Histórica: safras 1976/77 a 2018/19**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>>. Acesso em: 22 jul. 2020a.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Soja - Série Histórica: safras 1976/77 a 2018/19**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>>. Acesso em: 22 jul. 2020c.

CONCENÇO, G.; CECCON, G.; MARQUES, R. F.; MARSCHALL, I. R.; ALVES, M. D. S.; PALHARINI, W. G.; GALON, L. Cultivos de outono-inverno na supressão de plantas daninhas em soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.10, n.2, p.205-210, 2015.

CORREIA, N. M.; LEITE, M. B.; FUZITA, W. E. Consórcio de milho com *Urochloa ruziziensis* e os efeitos na cultura da soja em rotação. **Bioscience Journal**, p. 65-76, 2013.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; AQUINO GAMEIRO, R.; PARIZ, C. M.; BUZETTI, S.; LOPES, K. S. M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 8, p. 1038-1047, 2012.

CRUZ, J. C.; DA SILVA, G. H.; PEREIRA FILHO, I. A.; NETO, M. M. G.; MAGALHÃES, P. C. Caracterização do cultivo de milho safrinha de alta produtividade em 2008 e 2009. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, n. 2, p. 177-188, 2010.

- DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; CONTE, O. Diversificação de espécies vegetais como fundamento para a sustentabilidade da cultura da soja. **Documentos**, **366**. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 60 p.
- DERAL - Departamento de Economia Rural. **Milho: análise da conjuntura**. Curitiba, 2018b. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=240>>. Acesso em: 23 jul. 2019.
- DUARTE, A. P. Milho safrinha se consagra e caracteriza um sistema peculiar de produção. **Revista Visão agrícola**, Piracicaba, p. 78-82, 2015.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000, 360 p.
- FERNANDES, M. S.; FINCO, M. V. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária e políticas de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 2, p. 182-190, 2014.
- FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L. D.; BÜLL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 49-57, 2006.
- FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1721-1732, 2009.
- FORNANSIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 576 p.
- 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 Agrônômica**, v.45, p.999-1005, 2014.
- FREITAS, P. L. Sistema plantio direto: conceitos, adoção e fatores limitantes. **Comunicado Técnico**, **31**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005.
- GARCIA, C. M. P.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; LOPES, K. S. M.; BUZETTI, S. Decomposição da palhada de forrageiras em função da adubação nitrogenada após o consórcio com milho e produtividade da soja em sucessão. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 143-152, 2014.
- 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**, Campina Grande, v. 18, n. 7, 2014.
- GAZZONI, D. L. **A saga da soja de 1050 a 2050 d.C.** GAZZONI, D. L.; DALL'AGNOL, A. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 199 p.
- GOES, R. J.; RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O.; VILELA, R. G. Nitrogênio em cobertura para o milho (*Zea mays* L.) em sistema plantio direto na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, n.2, p. 169-177, 2012.

HEINRICH, R.; VITTI, G. C.; MOREIRA, A.; DE FIGUEIREDO, P. A. M.; FANCELLI, A. L.; CORAZZA, E. J. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 71-79, 2005.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. **Circular Técnica**, 349. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70 p.

HURTADO, S. M. C.; DE RESENDE, A. V.; SILVA, C. A.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S. Variação espacial da resposta do milho à adubação nitrogenada de cobertura em lavoura no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.3, p.300-309, 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro: Fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. 86 p.

INOMOTO, M. M.; ANTEDOMÊNICO, S. R.; SANTOS, V. P.; SILVA, R. A.; ALMEIDA, G. C. Avaliação em casa de vegetação do uso de sorgo, milheto e crotalária no manejo de *Meloidogyne javanica*. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, n. 2, p. 125-129, 2008.

JAKELAITIS, A.; DA SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. Efeitos do nitrogênio sobre o milho cultivado em consórcio com *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 1, p. 39-46, 2005.

KAPPES, C.; CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M.; NETO DA SILVA, J. A. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 3, p. 251-259, 2009.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L. Sistemas de consórcios de braquiária e de crotalárias com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 2, p. 219-234, 2015.

LANGE, A.; CAIONE, G.; SCHONINGER, E. L.; SILVA, R. G. Produtividade de milho safrinha em consórcio com capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 35-47, 2014.

LEANDRO, H. M.; ASMUS, G. L. Rotação e sucessão de culturas para o manejo do nematoide reniforme em área de produção de soja. **Ciência Rural**, v. 45, n. 6, p. 945-950, 2015.

LEITE, L. F. C.; FREITAS, R. D. C. A. D.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S. R. D. S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 29-35, 2010.

LEMO, L. B.; NAKAGAWA, J.; CRUSCIOL, C. A. C.; JÚNIOR, C.; SILVA, T. R. B. D. Influência da época de semeadura e do manejo da parte aérea de milheto sobre a soja em sucessão em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 405-415, 2003.

LIMA, S. F.; TIMOSSI, P. C.; ALMEIDA, D. P.; DA SILVA, U. R. Palhada de braquiária *ruiziensis* na supressão de plantas daninhas na cultura da soja. **Agrarian**, v. 7, n. 26, p. 541-551, 2014.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n. 1, p.133-146, 2009.

MAO, L.; ZHANG, L.; LI, W.; VAN DER WERF, W.; SUN, J.; SPIERTZ, H.; LI, L. Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop. **Field Crops Research**, v. 138, p. 11-20, 2012.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Balança Comercial do Agronegócio – Maio/2019**. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/saldo-da-balanca-do-agronegocio-em-maio-soma-us-8-6-bilhoes>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

MAR, G. D.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; NOVELINO, J. O. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 2, p. 267-274, 2003.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; DA SILVA, E. M.; DOS SANTOS, J. D. D. G.; DE SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.

MDIC - Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Estatísticas de comércio exterior - Séries Históricas – Grupos de produtos: exportação**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/series-historicas>>. Acesso em: jul. 2019.

MECHI, I. A.; SANTOS, A. L. F.; RIBEIRO, L. M.; CECCON, G. Infestação de plantas daninhas de difícil controle em função de anos de consórcio milho-braquiária. **Journal Of Neotropical Agriculture**, v. 5, n. 3, p. 49-54, 2018.

MÔRO, G. V.; FRITSCH NETO, R. Importância e usos do milho no Brasil. *In*: GALVÃO, J. C. C. BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2017. p. 9-25.

MOTTA, J. H.; PORTUGAL FILHO, C. C. Características agronômicas e produtividade de milho Safrinha em função de fontes e doses de nitrogênio. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.7, n.2, p.47-52, 2016.

NAIK, M. S. P.; SUMATHI, V.; KADIRI, L. Response of optimum nitrogen rate in maize with legume intercropping system. **SAARC Journal of Agriculture**, v. 15, n. 1, p. 139-148, 2017.

OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; FAVARIN, J. L.; SANTOS, D. C. Sistema Santa Brígida – tecnologia Embrapa: consorciação de milho com leguminosas. **Circular Técnica**, 88. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. 16 p.

PEREIRA, G. A. M.; SILVA, D. V.; BRAGA, R. R.; CARVALHO, F. P.; FERREIRA, E. A.; SANTOS, J. B. Fitomassa de adubos verdes e cobertura do solo na região do Alto Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. **Revista Agro@mbiente**, v. 6, n. 2, p. 110-116, 2012.

RAASCH, H.; SCHONINGER, E. L.; NOETZOLD, R.; COSTA VAZ, D.; SILVA, J. D. Doses de nitrogênio em cobertura no milho de segunda safra em Nova Mutum–MT. **Revista Cultivando o Saber**. v. 4, n. 4, p. 517-529, 2016.

RAMOS JUNIOR, E. U.; DE RAMOS, E. M.; KONZEN, L. M.; FALEIRO, V. D. O.; DA SILVA, A. F.; TARDIN, F. D. Desempenho da soja em sucessão ao consórcio de milho segunda safra com diferentes densidades de *Crotalaria spectabilis*. **Revista Nativa**, Sinop, v. 7, n. 6, p. 649-655, 2019.

RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S.; FONTES, J. R. A.; ARNS, L. L. K.; RIBEIRO, L. F. Adubação e arranjo de plantas no consórcio milho e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 269-275, 2008.

RIBEIRO, L. M.; CECCON, G.; MECCHI, I. A.; DOS SANTOS, A. L. F.; MAKINO, P. A.; FACHINELLI, R. Produtividade da soja em sucessão a cultivos de outono-inverno. **Agrarian**, v. 11, n. 40, p. 120-131, 2018.

RIBEIRO, L. M.; FLAUZINO, D. S.; CECCON, G. Atributos físicos do solo e crescimento de raiz da soja após cultivos de outono-inverno. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 13, n. 1, p. 36-43, 2019.

ROSCOE, R.; MIRANDA, R. A. S. Manejo da adubação do milho safrinha. In: ROSCOE, R. LOURENÇÃO, A. L. F.; GRIGOLI, J. F. J.; MELOTTO, A. M.; PITOL, C.; MIRANDA, R. A. S. **Tecnologia e Produção: milho safrinha e culturas de inverno 2013**. Curitiba: Midiograf, 2013. p. 15-37.

SANTOS, G. G.; DA SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 115-122, 2008.

SEDIYAMA T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. SEDIYAMA T. [ed.]. Londrina: Macenas, 2009. 314 p.

SHIOGA, P. S.; GERAGE, A. C.; ARAÚJO, P. M.; BIANCO, R.; BARROS, A. S. R.; CUSTÓDIO, A. A. P. Avaliação estadual de cultivares de milho segunda safra 2016. **Boletim Técnico**, 88. Londrina: IAPAR, 2016. 52 p.

SILVA, C. M. D. Entre Fênix e Ceres: A grande aceleração e a fronteira agrícola no Cerrado. **Varia Historia**, v. 34, n. 65, p. 409-444, 2018.

SILVA, D. A.; DE SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 147-156, 2011.

SBCS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIENCIA DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482 p.

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

- SORATTO, R. P.; PEREIRA, M.; COSTA T. A. M.; LAMPERT, V. N. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 511-518, 2010.
- SOUSA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, S. M. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 215-252.
- SOUZA, J. A.; BUZETTI, S.; MOREIRA, A. Viabilidade econômica de fontes e doses de nitrogênio no cultivo do milho segunda safra em sistema de plantio direto. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 3, p. 308-313, 2015.
- SOUZA, R. O.; TEIXEIRA, S. M. Produtividade total dos fatores na agricultura goiana: uma análise para as culturas de cana-de-açúcar, milho e soja. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 11, n. 2, p. 211-234, 2015.
- SOUZA, R. T.; VALADÃO, F. C. A.; JÚNIOR, D. D. V.; GUIMARÃES, P. R.; PAULA, V. R. R. Maize-crotalaria intercropping systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 1455-1468, 2019.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed. 2017. 888p.
- TAKELE, E.; MEKONNEN, Z.; TSEGAYE, D.; ABEBE, A. Effect of intercropping of legumes and rates of nitrogen fertilizer on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) at Arba Minch. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8, n. 09, p. 2159, 2017.
- TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; ANDRADE, M. J. B.; SILVA, C. A.; PEREIRA, J. M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milheto e milheto + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 31, n. 4, 2009.
- TEODORO, R. B.; DE OLIVEIRA, F. L.; DA SILVA, D. M. N.; FÁVERO, C.; QUARESMA, M. A. L. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 635-643, 2011.
- TIMOSSI, P. C.; DURIGAN, J. C.; LEITE, G. J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 617-622, 2007.
- TORRES, J. L. R.; SOUZA SILVA, M. G.; ANDRADE CUNHA, M.; VALLE, D. X. P.; PEREIRA, M. G. Produção de fitomassa e decomposição de resíduos culturais de plantas de coberturas no cultivo da soja em sucessão. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 247-253, 2014.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 421-428, 2008.
- USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Grain: World Markets and Trade**. Foreign Agricultural Services, 2020. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: março. 2020.

- VILELA, L.; JUNIOR, G. B. M.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; JÚNIOR, R. G.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2012.
- VILHEGAS, A. C. G.; VIDIGAL FILHO, P. S.; SCAPIM, C. A.; GONÇALVES VIDIGAL, M. C.; BRACCINI, A. L.; SAGRILO, E. Efeito de épocas de semeadura e estabilidade de híbridos de milho em plantios de Safrinha no Noroeste do Paraná. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p. 45-51, 2001.
- VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. D. A. R.; DOS REIS, M. C. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 02, 2009.
- YADAV, M. R.; KUMAR, R.; PARIHAR, C. M.; YADAV, R. K.; JAT, S. L.; RAM, H.; MEENA R.K.; SINGH M.; BIRBAL; VERMA A. P.; KUMAR U; GHOSH, A. Strategies for improving nitrogen use efficiency: A review. **Agricultural Reviews**, v. 38, n. 1, p. 29-40, 2017.
- ZANON, A. J.; WINCK, J. E. M.; STRECK, N. A.; DA ROCHA, T. S. M.; CERA, J. C., RICHTER, G. L.; MARCHESAN, E. Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. **Bragantia**, v. 74, n. 4, p. 400-411, 2015.
- ZOZ, T.; LANA, M. C.; STEINER, F.; ZOZ, A.; ZOZ, J.; ZUFFO, A. M. Densidade populacional, espaçamento e adubação nitrogenada na semeadura de milho de segunda safra. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 103-125, 2019.

3 ARTIGO A: DOSES DE NITROGÊNIO NO DESEMPENHO AGRONÔMICO DO MILHO SEGUNDA SAFRA SOLTEIRO E CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA OU CROTALÁRIA

RESUMO

O consórcio de milho com plantas de cobertura pode permitir aumentar a estabilidade e a eficiência do Sistema Plantio Direto (SPD). Entretanto, essa técnica exige adequações no suprimento de nitrogênio em virtude da competição interespecífica pelos recursos do ambiente, que pode variar com as características morfofisiológicas da planta de cobertura utilizada. Objetivou-se avaliar o efeito de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura no crescimento e desempenho produtivo do milho segunda safra solteiro e consorciado com braquiária (*Urochloa ruziziensis*) ou crotalária (*Crotalaria spectabilis*). O experimento foi conduzido na segunda safra de 2018 e 2019, em Londrina/PR, sobre Latossolo Vermelho distroférico com textura muito argilosa, manejado por 10 anos em SPD. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas e quatro repetições. As parcelas foram constituídas pelo milho solteiro (cv. AG 9010 PRO), consorciado com braquiária ou com crotalária e as subparcelas pelas doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) o estádio V4 e parceladas a partir da dose de 120 kg ha⁻¹ em V4 e V8, na forma de nitrato de amônio (33% de N). O espaçamento utilizado entre as linhas do milho foi 0,85 m. As características avaliadas foram: índice SPAD em V4, V7 e R1; índice de vegetação por diferença normalizada em V4 e V7; área foliar em R1; massa seca de folha, de colmo, de espiga e de pendão em R1; massa seca de folha, colmo e grãos em R6; relação entre massa seca de folha e de colmo em R6; altura de inserção da espiga; altura da planta; diâmetro do colmo; densidade final de plantas; número de espigas por planta, de fileiras de grãos por espigas, de grãos por fileira e de grãos por espiga; massa de mil grãos; índice de colheita aparente; e produtividade de grãos. Em Latossolo Vermelho distroférico, com elevados teores nutricionais e matéria orgânica sob condições de restrição hídrica, na ausência de adubação nitrogenada e com uso de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura, o consórcio com *U. ruziziensis* reduz o crescimento e o desempenho produtivo do milho. A adubação nitrogenada de cobertura no milho segunda safra em consórcio com *U. ruziziensis* minimiza a competição da forrageira sobre o crescimento do milho e proporciona, em doses superiores a 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, desempenho produtivo similar ao cereal solteiro em SPD. O consórcio com *C. spectabilis* não altera o crescimento e o desempenho produtivo do milho, bem como a resposta a doses de N aplicada em cobertura em relação ao sistema de milho solteiro na segunda safra.

Palavras-chave: *Zea mays* L.. *Urochloa ruziziensis*. *Crotalaria spectabilis*. Adubação nitrogenada. Consorciação. Diversificação de culturas.

ARTICLE A: NITROGEN DOSES IN AGRONOMIC PERFORMANCE OF OFF-SEASON CORN SINGLE OR INTERCROPPED WITH BRACHIARIA OR CROTALARIA

ABSTRACT

The intercropping of corn with cover plants may allow the stability and efficiency of the no-till system to be maintained. However, this technique requires adjustments in the supply of nitrogen due to the interspecific competition for environmental resources, which can vary with the morphophysiological characteristics of the cover plant used. The objective of this study was to evaluate the effect of nitrogen top-dressing rates on the growth and productive performance of off-season corn single and intercropped with brachiaria or crotalaria. The experiment was conducted in off-season of 2018 and 2019, in Londrina/PR, in a Latossolo Vermelho distroférico with a very clayey texture, managed for 10 years in a no-till system. The experimental design used was a complete randomized blocks, in a split plot scheme, with four replications. The plots were constituted by the cultivation of single corn (cv. AG 9010 PRO), intercropped with brachiaria or crotalaria and the subplots by nitrogen top-dressing rates (0, 60, 120, 180 and 240 kg ha⁻¹) at the stage V4 and parceled from the dose 120 kg ha⁻¹ in V4 and V8, using ammonium nitrate (33% N) as source. The spacing used between the corn lines was 0.85 m. The evaluated characteristics were: SPAD index in V4, V7 and R1; normalized difference vegetation index in V4 and V7; leaf area in R1; dry mass of leaf, stem, ear and tassel in R1; dry mass of leaf, stem and grains in R6; reason between dry leaf and stem mass in R6; ear insertion height; plant height; stem diameter; final plant density; number of ears per plant, rows of grains per ear, grains per row and grains per ear; thousand grain mass; apparent harvest index; and grain yield. In the Latossolo Vermelho distroférico, with high nutritional contents and organic matter under water restriction conditions, in the absence of nitrogen fertilization and using 60 kg ha⁻¹ of nitrogen top-dressing, the intercropping with *U. ruziziensis* reduces the growth and the productive performance of the corn. Nitrogen fertilization top-dressing in off-season corn intercropped with *U. ruziziensis* minimizes forage competition over corn growth and provides, in rates above 120 kg ha⁻¹ of nitrogen, similar production performance to single cereal in no-till system. The intercropping with *C. spectabilis* does not alter the growth and the productive performance of the corn, as well as the response to N top-dressing rates in relation to the system of single off-season corn.

Key words: *Zea mays* L. *Urochloa ruziziensis*. *Crotalaria spectabilis*. Nitrogen fertilization. Intercropping. Crop diversification.

3.1 INTRODUÇÃO

O milho segunda safra é semeado entre os meses de janeiro e abril depois da cultura de verão, em sua maioria a soja. Nas últimas décadas, a área cultivada, a produção e a produtividade nacional aumentaram, evidenciando a consolidação desse cultivo, com sucessão soja/milho em SPD (CONAB, 2020).

No período de cultivo da segunda safra a radiação solar, a temperatura e a disponibilidade hídrica são recursos menos favoráveis ao crescimento, desenvolvimento e desempenho produtivo do milho (SHIOGA; GERAGE, 2010), o que exige do produtor a utilização de técnicas de manejo que proporcionem máxima produtividade com menor custo de produção.

O suprimento inadequado de nitrogênio (N) é um fator limitante à produtividade de grãos de milho. Isso ocorre porque o N é o elemento mineral absorvido em maior quantidade pelo cereal, proporcionando maior crescimento, desenvolvimento e resposta produtiva, desde que outros fatores não sejam limitantes (AL-NAGGAR et al., 2015). Entretanto, na segunda safra, há produtores que optam pelo uso de doses inferiores ou supressão total de N no milho em função das condições meteorológicas desse período serem mais restritivas, limitando a resposta da cultura ao nutriente. Além disso, o milho segunda safra, em geral, é antecedido pela soja, leguminosa que pode disponibilizar N no solo. Contudo, trabalhos de pesquisa indicam que a aplicação de N em cobertura no milho influencia positivamente o desempenho produtivo do cereal na segunda safra (GAZOLA et al., 2014; RAASCH et al., 2016), inclusive quando cultivado em sucessão à soja (KAPPES et al., 2009).

Adicionalmente, o interesse pelo cultivo do milho segunda safra consorciado com braquiária ou crotalária em SPD é crescente (KAPPES; ZANCANARO, 2015). As forrageiras tropicais, principalmente as do gênero *Urochloa* proporcionam elevada produção de palha (FRANCHINI et al., 2014), e ciclagem de nutrientes (PACHECO et al., 2011), fatores que contribuem para sustentabilidade do SPD. Além disso, a biomassa radicular melhora a qualidade do solo e favorece a agregação, estruturação e permeabilidade do solo (CHIODEROLI et al., 2012), conferindo maior desempenho produtivo à cultura subsequente (BALBINOT JUNIOR et al., 2017; YOKOYAMA et al., 2018).

Por sua vez, o consórcio de milho com crotalária tem como objetivos o incremento de N no solo via fixação biológica para aumentar a disponibilidade do nutriente no sistema (OLIVEIRA et al., 2010), o aumento na quantidade de palhada, a ciclagem de nutrientes e o controle de nematóides (GITTI et al., 2012).

Portanto, a consorciação do milho na segunda safra pode beneficiar o sistema de produção, entretanto o cultivo consorciado eleva a competição entre plantas, principalmente em condições climáticas específicas de segunda safra (KAPPES et al., 2015; GENOVESI et al., 2019). Assim, se faz necessário adequações de doses de N em cobertura para suprir as exigências do milho submetido a sistemas consorciados, considerando as características morfológicas dos cultivos de cobertura utilizados.

Nesse contexto, o aumento das doses de nitrogênio em cobertura pode minimizar a competição das plantas de cobertura consorciadas com o milho segunda safra e proporcionar maior produtividade ao cereal em SPD. Portanto, objetivou-se avaliar o efeito de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura no crescimento e desempenho produtivo do milho segunda safra solteiro e consorciado com braquiária ou crotalária.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Descrição da Área Experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, Londrina, PR (latitude 23°11'S, longitude 51°11'O e altitude de 620 m), na segunda safra de 2018 e 2019, na mesma área experimental, em um Latossolo Vermelho distroférico (SANTOS et al. 2018), com 710 g argila kg⁻¹, 82 g silte kg⁻¹ e 208 g areia kg⁻¹ de solo, manejado em SPD há 10 anos.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é tipo Cfa, descrito como subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes (IAPAR, 2020). Os dados de precipitação pluvial e temperatura durante a condução do experimento foram coletados em estação meteorológica, distante 500 metros da área experimental, e utilizados para confecção do extrato do balanço hídrico climatológico sequencial do período conforme metodologia descrita por Thornthwaite e Mather (1955), com CAD de 75 mm, segundo dados da estação meteorológica da Embrapa Soja Londrina - PR. (Figura 1).

3.2.2 Delineamento Experimental, Tratamentos e Condução do Experimento

O delineamento experimental utilizado foi blocos completos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas por três sistemas de cultivo do milho, o milho solteiro (cv. AG 9010 PRO), consorciado com braquiária (*Urochloa ruziziensis*) ou com crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e as subparcelas, pelas doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹), na forma de nitrato de amônio (33% de N).

Antes da instalação do experimento, foram coletadas na área amostras de solo de 0-20 cm de profundidade e realizada a análise química, cujos resultados foram: 5,09 pH (CaCl₂); 13,89 mg dm⁻³ P (Mehlich 1); 28,86 g kg⁻¹ de matéria orgânica; 0,0 cmolc dm⁻³ Al; 4,96 cmolc dm⁻³ H+Al; 0,59 cmolc dm⁻³ K; 4,16 cmolc dm⁻³ Ca; 2,05 cmolc dm⁻³ Mg; 6,80 cmolc dm⁻³ de soma de bases; 11,76 cmolc dm⁻³ capacidade de troca de cátions; e 57 % de saturação por bases.

A subparcela foi composta por seis linhas de milho com oito metros, espaçadas de 0,85 m para o milho solteiro ou consorciado, considerando-se como área útil as quatro linhas centrais desprezando-se 0,5 m de cada extremidade.

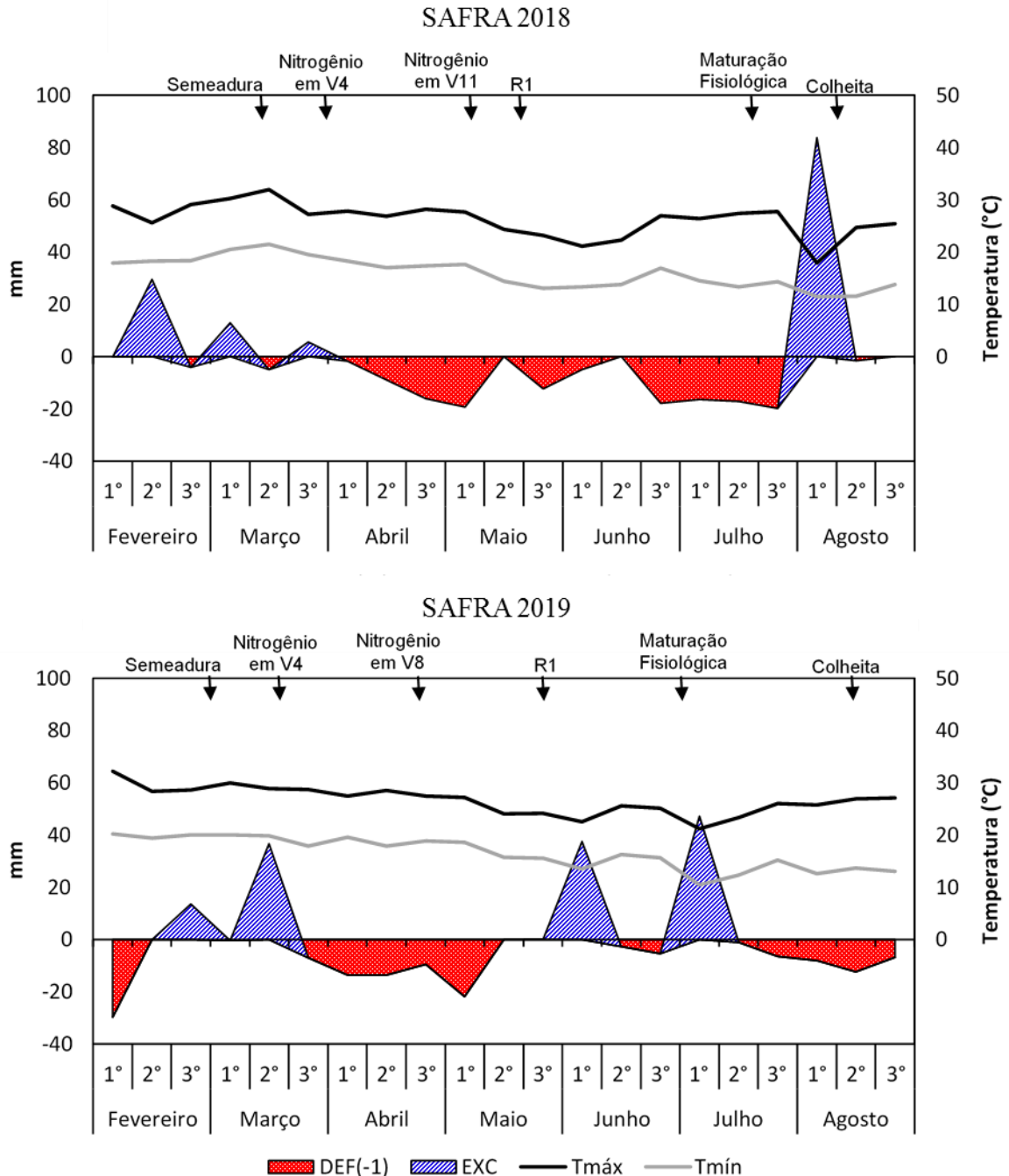


Figura 1 – Extrato do balanço hídrico climatológico sequencial (mm), temperatura máxima (Tmáx) e mínima (Tmín), decenal na safra 2018 e safra 2019, período de 01/02 a 31/08, conforme metodologia descrita por Thornthwaite e Mather (1955), com CAD de 75 mm, segundo dados da estação meteorológica da Embrapa Soja Londrina - PR. Precipitação pluvial total: precipitação pluvial que ocorreu da sementeira a colheita do milho: safra 2018 - 301 mm; safra 2019 - 380 mm. **Fonte:** o próprio autor.

A semeadura do milho foi realizada mecanicamente com semeadora adubadora na segunda quinzena de março em 2018 e na primeira em 2019, sobre resteva de cultura de soja, com semeadora-adubadora com mecanismos sulcadores do tipo guilhotina para posicionamento do adubo e discos duplos defasados para a semente, regulada para densidade de 65 mil plantas ha⁻¹.

Na safra 2018, utilizou-se na adubação de base 310 kg ha⁻¹ da formulação NPK 08-28-16 e, na safra 2019, 420 kg ha⁻¹ da 08-20-20. Nos consórcios, a braquiária e a crotalária foram semeadas mecanicamente na ocasião da semeadura do milho, com caixa adicional para sementes pequenas e distribuição por meio de rotor acanalado helicoidal, em sulco único centralizado nas entrelinhas do milho, utilizando 10 e 25 kg ha⁻¹ de sementes puras e viáveis, respectivamente.

A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada manualmente a lanço e parceladas em duas vezes (50% + 50%) a partir da dose de 120 kg ha⁻¹, quando as plantas estavam em V4 e V8. Na safra 2018, devido à falta de chuvas em V8, a segunda aplicação foi realizada em V11. Em ambas safras, na segunda parcela da adubação nitrogenada todos os tratamentos receberam 60 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (60% K₂O).

As plantas daninhas foram controladas durante o ciclo do milho por meio de capina manual. O controle de pragas e doenças foi feito conforme a necessidade e recomendações para a cultura.

3.2.3 Variáveis Avaliadas

Realizaram-se as seguintes avaliações: a) índice SPAD: obtido pela média de duas leituras em seis plantas na última folha completamente desenvolvida em V4 e V7 e na folha da espiga em R1, com clorofilômetro *Konica Minolta® Spad 502*. As leituras foram realizadas entre 8:30 e 10:00 horas; b) índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI): dado pela relação: $NDVI = (IVP - V) / (IVP + V)$, onde V refere-se à reflectância na região do vermelho (680 nm) e IVP refere-se à reflectância no infravermelho próximo (770 nm), a partir do equipamento *Green Seeker® 505 Handheld Sensor* e posicionado sobre a linha central de cada parcela para realização das leituras em V4 e V7; c) área foliar por planta: estimada no espigamento (R1), aplicando a expressão: $AF = C \times L \times 0,75$, em que C e L representam, respectivamente, comprimento e largura média medida no ponto de maior dimensão de cada folha em seis plantas; d) massa seca de folha, de colmo, de espiga e de pendão em R1: foram

coletadas três plantas ao acaso em uma das linhas da parcela, separadas as partes, que foram secas em estufa com ventilação forçada a 60° C por 72 h, com aferição das massas em balança de precisão; e) massa seca de folha, de colmo e de grãos em R6: foram coletadas três plantas ao acaso em uma das linhas da parcela, separadas as partes, com secagem em estufa de ventilação forçada a 60° C por 72 h e, posterior aferição das massas em balança de precisão; f) relação entre massa seca de folha e de colmo: divisão dos valores de massa seca de folha e colmo obtidos em R6; g) altura de inserção da espiga em R6: distância do colo da planta até a inserção da espiga superior; h) altura da planta em R6: distância do colo da planta até a ponta do pendão; i) diâmetro do colmo em R6: determinado por meio da média de duas medidas, uma na direção da linha de cultivo e outra perpendicular, no primeiro internódio a partir da base da planta.

No ponto de colheita do milho (22% de umidade) foram realizadas as seguintes avaliações: a) densidade final de plantas: contagem das plantas de duas linhas da área útil da parcela e extrapolado para hectare; b) número de espigas por planta: contagem do número de espigas das plantas em duas linhas da área útil da subparcela; c) número de fileiras de grãos por espigas: contagem do número de fileiras de grãos das espigas de seis plantas; d) massa de mil grãos: média da massa de oito repetições de cem grãos por subparcela, obtida em balança de precisão e extrapolação para mil grãos; e) número de grãos por espiga: fez-se razão entre massa de grãos da área útil e a massa de mil grãos, obteve-se o número de grãos. Depois, o número de grãos foi dividido pelo número de espigas da área útil; f) número de grãos por fileira: obtido pela razão entre o número de grãos por espiga e o número de fileiras por espiga, de seis plantas; g) índice de colheita aparente obtido pela razão entre a massa de grãos e a massa seca da parte aérea da planta; e h) produtividade de grãos: realizou-se colheita manual em duas linhas da área útil da subparcela. Após a trilha, beneficiamento e pesagem, a produtividade foi determinada e extrapolada para quilos por hectare, com teor de água médio de 130 g kg⁻¹ de grãos.

3.2.4 Análise Estatística

Os dados foram submetidos às análises de normalidade e homocedasticidade, com a utilização dos testes de Shapiro-Wilk e Hartley, respectivamente, indicando o cumprimento dos pressupostos estatísticos. Em seguida, foram submetidos à análise de variância. Considerou-se $p \leq 0,25$ para efeito de interação, e usual $p \leq 0,05$ para efeito isolado dos fatores, conforme recomendado por Perecin e Cargnelutti Filho (2008). Os desdobramentos

das interações foram apresentados quando significativos e aplicável a explicação do comportamento biológico da variável. No fator qualitativo (sistemas de cultivo) as médias das variáveis foram comparadas pelo teste de Tukey e no quantitativo (doses de nitrogênio) foram submetidas à análise de regressão ($p \leq 0,05$), utilizando o programa de análise estatística Sisvar (FERREIRA, 2011).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As precipitações pluviométricas nas duas safras do experimento foram inferiores à média histórica da região. A média histórica de precipitação pluviométrica no período de condução do experimento (março a agosto) é de 490 mm (SIBALDELLI; FARIAS, 2018). Assim, os 301 mm que ocorreram durante o ciclo do milho na safra 2018 e os 380 mm na safra 2019 correspondem a um déficit pluviométrico de 189 mm e de 110 mm, respectivamente (Figura 1).

Considerando que a cultura do milho necessita de 400 a 700 mm de água durante o ciclo para produção de grãos (OLIVEIRA et al., 2018), o déficit hídrico de ambas as safras causou limitação no crescimento e desenvolvimento da cultura, comprometendo a produtividade do cereal. Essa limitação foi mais evidente na safra 2018, em que o déficit hídrico se estendeu de V4 até uma semana após a maturidade fisiológica das plantas (Figura 1). Na safra 2019, a menor duração do déficit, uma semana após V4 até 10 dias antes de R1, devido a maior quantidade e melhor distribuição das precipitações pluviométricas que na safra 2018 (Figura 1) permitiram melhores respostas do cereal. Da mesma forma, as culturas de cobertura tiveram seu crescimento mais comprometido na safra 2018/2019 que na safra 2019/2020.

Na safra 2018, houve interação entre os sistemas de cultivo do milho e as doses de nitrogênio em cobertura no índice SPAD em R1, na área foliar em R1, na altura da planta, no diâmetro do colmo, no número de espiga por planta e no número de fileiras por espiga (Tabela 1). Para os fatores isolados, houve efeito do consórcio sobre o NDVI em V4 e de dose de nitrogênio sobre a massa seca do pendão em R1. Na safra 2019, houve interação entre os sistemas de cultivo e as doses de nitrogênio em cobertura no índice SPAD em R1, na área foliar, na altura de inserção da espiga, na altura de planta, no número de fileiras por espiga, no número de grão por fileira, na massa de mil grãos e na produtividade de grãos (Tabela 2). Em relação aos fatores isolados, houve efeito do consórcio sobre o NDVI em V7, a massa seca de folha em R6 e a massa seca do grão em R6.

Tabela 1 – Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro; milho + *Urochloa ruziziensis*; e milho + *Crotalaria spectabilis*) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra, em Londrina, PR, na segunda safra de 2018.

Fontes de variação	GL	SPAD V4	SPAD V7	SPAD R1	NDVI V4	NDVI V7	AF R1 (cm ² planta ⁻¹)	
----- Valor de p ¹ -----								
Bloco	3	0,54	0,91	0,97	0,05	0,34	0,98	
Cultivo (C)	2	0,70	0,17	0,09	0,00	0,10	0,24	
Dose (D)	4	0,99	0,51	0,86	0,07	0,22	0,30	
C x D	8	0,30	0,72	0,16	0,10	0,06	0,16	
CV 1 (%)		4,07	4,81	12,63	3,70	4,67	23,49	
CV 2 (%)		3,53	3,08	7,42	4,22	2,97	10,92	
Média		52,89	53,03	42,22	0,57	0,77	3.596	
Fontes de variação	GL	MSF R1	MSC R1	MSE R1	MSP R1	MSF R6	MSC R6	MSG R6
----- kg ha ⁻¹ -----								
----- Valor de p ¹ -----								
Bloco	3	0,19	0,50	0,42	0,91	0,68	0,87	0,48
Cultivo (C)	2	0,34	0,39	0,51	0,59	0,14	0,50	0,09
Dose (D)	4	0,41	0,62	0,72	0,01	0,93	0,86	0,62
C x D	8	0,44	0,60	0,31	0,46	0,11	0,20	0,47
CV 1 (%)		21,85	30,82	54,64	28,22	14,06	29,20	35,47
CV 2 (%)		14,96	17,90	40,22	14,84	11,90	16,57	34,11
Média		2.580	2.596	342	176	2..255	2.529	2.439
Fontes de variação	GL	MSF/MSC R6	AE (cm)	AP (cm)	DC (mm)	DF (plantas ha ⁻¹)		
----- Valor de p ¹ -----								
Bloco	3	0,57	0,70	0,89	0,93	0,51		
Cultivo (C)	2	0,91	0,30	0,27	0,28	0,33		
Dose (D)	4	0,49	0,33	0,02	0,67	0,81		
C x D	8	0,60	0,46	0,03	0,23	0,26		
CV 1 (%)		19,66	16,51	12,57	8,88	7,49		
CV 2 (%)		12,73	10,30	4,59	5,12	5,59		
Média		0,90	70	174	20,35	74.362		
Fontes de variação	GL	NEP (espigas planta ⁻¹)	NFE (fileira espiga ⁻¹)	NGF (grão fileira ⁻¹)	NGE (grão espiga ⁻¹)	MMG (g)	ICA	PROD (kg ha ⁻¹)
----- Valor de p ¹ -----								
Bloco	3	0,13	0,85	0,28	0,31	0,81	0,62	0,50
Cultivo (C)	2	0,13	0,42	0,77	0,53	0,54	0,18	0,29
Dose (D)	4	0,35	0,26	0,27	0,36	0,07	0,56	0,11
C x D	8	0,06	0,03	0,78	0,79	0,30	0,57	0,31
CV 1 (%)		14,19	7,01	22,29	21,79	6,99	32,86	30,28
CV 2 (%)		12,17	4,59	26,07	26,52	3,44	29,63	25,39
Média		0,72	14,44	9,11	131,52	309,90	0,26	1.886

¹ Em negrito, valores de $p \leq 0,05$; em negrito + itálico, interação com $p \leq 0,25$ (que foi desdobrada). Índice SPAD em V4, V7 e R1 (SPAD V4, V7 e R1), índice de vegetação por diferença normalizada em V4 e V7 (NDVI V4 e V7), área foliar em R1 (AF R1), massa seca de folha (MSF R1), de colmo (MSC R1), de espiga (MSE R1) e de pendão (MSP R1) em R1, massa seca de folha (MSF R6), de colmo (MSC R6) e de grãos (MSG R6) em R6, relação entre massa de folha e massa de colmo secos em R6 (MFS/MCS R6), altura de inserção da espiga (AE), altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), densidade final (DF), número de espiga por planta (NEP), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD). **Fonte:** o próprio autor.

Tabela 2 – Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro; milho + *Urochloa ruziziensis*; e milho + *Crotalaria spectabilis*) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra, em Londrina, PR, na segunda safra 2019.

Fontes de variação	GL	SPAD V4	SPAD V7	SPAD R1	NDVI V4	NDVI V7	NDVI R1	AF R1 (cm ² planta ⁻¹)
----- Valor de <i>p</i> ¹ -----								
Bloco	3	0,46	0,43	0,40	0,34	0,10	0,08	0,30
Cultivo (C)	2	0,38	0,55	0,37	0,71	0,00	0,95	0,25
Dose (D)	4	0,55	0,49	0,15	0,25	0,15	0,80	0,83
C x D	8	0,94	0,97	0,07	0,99	0,99	0,45	0,04
CV 1 (%)		2,08	2,00	4,10	28,40	17,13	50,57	9,44
CV 2 (%)		2,53	2,64	2,51	12,68	11,20	38,08	6,09
Média		53,59	58,16	58,84	0,23	0,37	0,18	4.735
Fontes de variação	GL	MSF R1	MSC R1	MSE R1	MSP R1	MSF R6	MSC R6	MSG R6
----- kg ha ⁻¹ -----								
----- Valor de <i>p</i> ¹ -----								
Bloco	3	0,65	0,73	0,44	0,12	0,20	0,08	0,06
Cultivo (C)	2	0,79	0,94	0,80	0,97	0,02	0,07	0,02
Dose (D)	4	0,68	0,41	0,62	0,15	0,46	0,29	0,16
C x D	8	0,55	0,82	0,99	0,41	0,87	0,53	0,88
CV 1 (%)		11,68	21,97	38,02	12,48	7,78	13,38	7,90
CV 2 (%)		12,12	16,76	37,24	12,63	14,22	18,93	14,04
Média		2435	2058	1299	215	2273	2254	7.818
Fontes de variação	GL	MSF/MSC R6	AE (cm)	AP (cm)	DC (mm)	DF (plantas ha ⁻¹)		
----- Valor de <i>p</i> ¹ -----								
Bloco	3	0,25	0,67	0,45	0,69	0,46		
Cultivo (C)	2	0,93	0,33	0,70	0,88	0,06		
Dose (D)	4	0,38	0,00	0,01	0,96	0,34		
C x D	8	0,05	0,25	0,05	0,68	0,46		
CV 1 (%)		12,46	9,47	6,62	8,84	2,98		
CV 2 (%)		8,63	4,42	2,05	4,12	4,12		
Média		1,02	75	208	19,84	64.828		
Fontes de variação	GL	NEP (espigas planta ⁻¹)	NFE (fileira espiga ⁻¹)	NGF (grão fileira ⁻¹)	NGE (grão espiga ⁻¹)	MMG (g)	ICA	PROD (kg ha ⁻¹)
----- Valor de <i>p</i> ¹ -----								
Bloco	3	0,92	0,70	0,84	0,79	0,06	0,36	0,37
Cultivo (C)	2	0,98	0,85	0,06	0,04	0,20	0,56	0,05
Dose (D)	4	0,65	0,25	0,71	0,17	0,00	0,23	0,03
C x D	8	0,88	0,12	0,11	0,25	0,03	0,52	0,15
CV 1 (%)		1,43	3,80	8,92	8,17	3,93	4,32	10,34
CV 2 (%)		1,73	3,16	5,85	5,47	2,25	4,62	5,58
Média		1,00	14,61	25,06	366,71	316,88	0,52	7.542

¹ Em negrito, valores de $p \leq 0,05$; em negrito + itálico, interação com $p \leq 0,25$ (que foi desdobrada). Índice SPAD em V4, V7 e R1 (SPAD V4, V7 e R1), índice de vegetação por diferença normalizada em V4 e V7 (NDVI V4 e V7), área foliar em R1 (AF R1), massa seca de folha (MSF R1), de colmo (MSC R1), de espiga (MSE R1) e de pendão (MSP R1) em R1, massa seca de folha (MSF R6), de colmo (MSC R6) e de grãos (MSG R6) em R6, relação entre massa de folha e massa de colmo secos em R6 (MFS/MCS R6), altura de inserção da espiga (AE), altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), densidade final (DF), número de espiga por planta (NEP), número de fileiras por espiga (NFE), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD). **Fonte:** o próprio autor.

A partir do desdobramento da interação do SPAD em R1, verificou-se, na safra 2018, que sem aplicação de nitrogênio em cobertura, o índice SPAD do milho em consórcio com crotalária foi maior que o do milho em consórcio com braquiária, entretanto não houve diferença entre os sistemas de cultivo quando aplicado nitrogênio em cobertura. Além disso, independente do sistema de cultivo, não houve resposta do índice SPAD ao aumento das doses de N, provavelmente o déficit hídrico limitou a resposta do milho ao N (Figura 2A), já que o nitrogênio atua em vários processos fisiológicos das culturas, de maneira que o aumento dos níveis do nutriente foi associado ao maior índice de clorofila e taxa fotossintética nas folhas, enquanto que níveis baixos afetam negativamente a quantidade ou atividade de componentes fotossintéticos (MAHAMA et al., 2016).

É provável que a maior competição interespecífica provocada pela braquiária em comparação à crotalária tenha reduzido a quantidade do nitrogênio absorvida pelo milho nas condições edáficas e meteorológicas da safra 2018. A menor quantidade de nitrogênio absorvida pelo milho reduziu o teor de nitrogênio nos tecidos e, conseqüentemente, influenciou o índice SPAD em R1 quando não foi aplicado N em cobertura. Fato também observado por Neto et al. (2013), que ao estudar alterações morfofisiológicas e produtivas no milho segunda safra consorciado com cinco populações de *Urochloa brizantha* (0, 5, 10, 20 e 40 plantas m⁻²), verificaram que o incremento na densidade da braquiária aumentou a competição interespecífica pelo nitrogênio e reduziu o índice SPAD do milho.

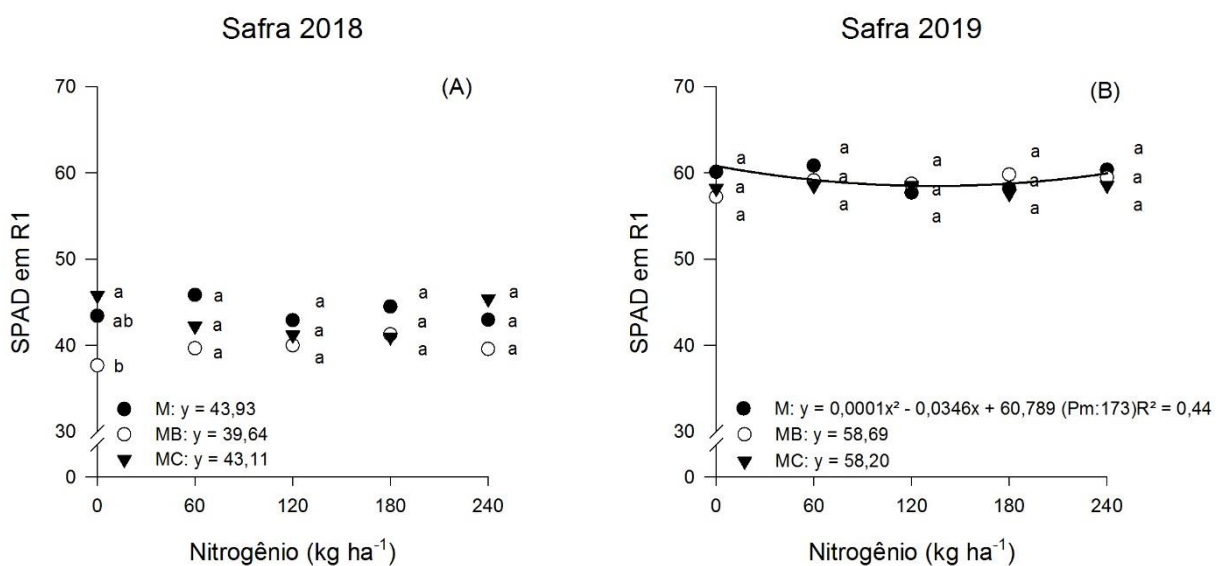


Figura 2 - Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre índice SPAD em R1 (A e B), em Londrina-PR, segunda safra 2018 e 2019. As médias seguidas pela mesma letra, em cada dose de

nitrogênio, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Pm: ponto mínimo. **Fonte:** o próprio autor.

Na safra 2019, não houve diferença no índice SPAD em R1 entre o milho solteiro e o consorciado com as culturas de cobertura. O índice no milho solteiro apresentou resposta quadrática com o aumento das doses de nitrogênio (Figura 2B) e valor médio (58,84) maior que o obtido na safra 2018 (43,93), indicando que houve maior absorção de nitrogênio pelo milho solteiro na safra 2019, possivelmente devido à maior umidade do solo proporcionada pela maior precipitação pluviométrica, condição mais adequada ao aproveitamento do nitrogênio disponível (Figura 1). Assim, o índice SPAD pode ser utilizado eficientemente para monitorar os índices nutricionais de nitrogênio no milho e estimar a necessidade de adubação nitrogenada na cultura (RAMBO et al., 2011; BASSI et al., 2018).

Souza et al. (2019), testaram diferentes sistemas de consórcio milho-crotalária (*Crotalaria spectabilis* e *Crotalaria ocrholeuca*) e verificaram que sistemas em que a crotalária foi semeada na entrelinha e no mesmo momento que o milho, apresentaram índice SPAD (51,45) que não diferiu do milho solteiro (52,80), como observado nas duas safras do presente trabalho (Figura 2A e 2B). A baixa capacidade de competição da crotalária com o milho, a capacidade de fixação de nitrogênio no solo, o sistema radicular pivotante e a produção de biomassa com baixa relação C/N são atributos importantes para considerar a inclusão da leguminosa no SPD, no intuito de diversificar o sistema, promover o aumento no teor de matéria orgânica, melhorar a estrutura e aumentar a concentração de nitrogênio no solo (GITTI et al., 2012) além de apresentar liberação de nutrientes em sincronia com a demanda da cultura principal (CHIEZA et al., 2017).

O NDVI em V4 e em V7 no milho em consórcio com braquiária foi maior que no milho solteiro nas duas safras (Figura 3A e 3B). O NDVI é um índice utilizado para o monitoramento da quantidade de biomassa vegetal da parte aérea em uma lavoura (ESQUERDO et al., 2011; PADILLA et al., 2018). Essa biomassa varia conforme influência de fatores de manejo da cultura, como diferença entre sistemas de produção ou adubação nitrogenada, e determina o potencial produtivo da cultura (VIAN et al., 2018). O resultado do presente estudo indica que o consórcio com a braquiária promove maior produção de biomassa vegetal e cobertura do solo nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, condição que favorece o sistema, uma vez que o milho não apresenta boa cobertura do solo nesse período.

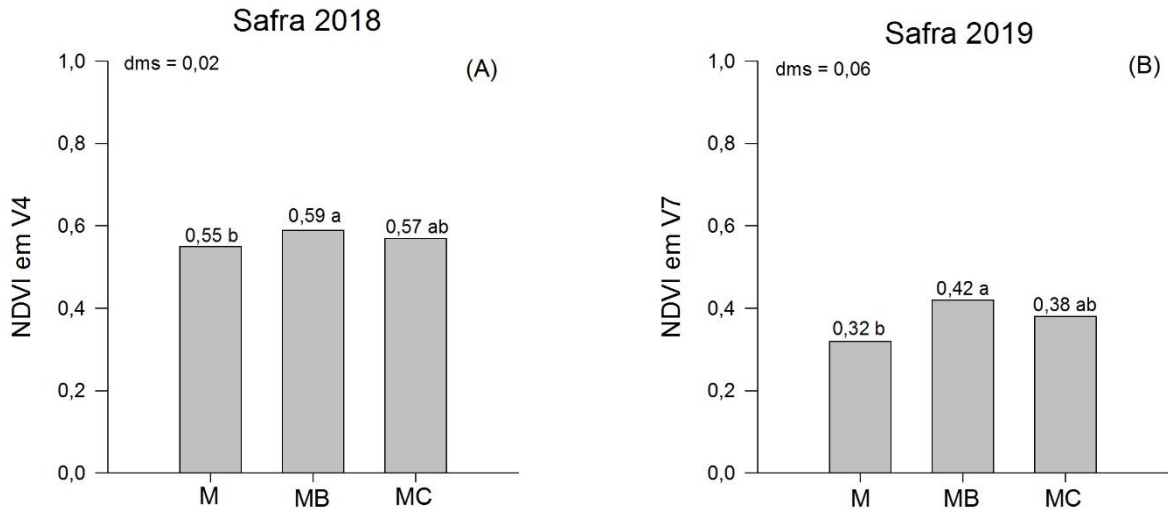


Figura 3 - Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) no milho segunda safra sobre índice de vegetação por diferença normalizada em V4 e em V7 (NDVI em V4 e em V7) (A e B), em Londrina-PR, segunda safra 2018 e 2019. As médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. **Fonte:** o próprio autor.

Segundo metodologia de estimativa de potencial produtivo da cultura do milho em função do NDVI desenvolvida por Vian et al. (2018), verifica-se que na safra 2018, os valores de NDVI em V4, de 0,55 a 0,59, caracterizaram alta produtividade ($\text{NDVI} \geq 0,47$), provavelmente porque até o estágio fenológico de V4 do milho as condições de disponibilidade hídrica foram favoráveis, diferentemente dos estádios posteriores. Na safra 2019, mesmo estando em V7 os valores de NDVI são inferiores aos de V4 da safra anterior, pois foram obtidos durante o déficit hídrico ocorrido, indicando baixa produtividade de acordo com a mesma metodologia ($\text{NDVI} < 0,52$).

Na safra 2018, quando não usado nitrogênio em cobertura, a área foliar por planta de milho em consórcio com braquiária foi menor que a do milho em consórcio com crotalária, contudo ambas não diferiram do milho solteiro (Figura 4A). Na safra 2019, a área foliar do milho consorciado com braquiária foi menor que a do milho solteiro na ausência de nitrogênio em cobertura (Figura 4B). A elevada capacidade de competição da braquiária pelos recursos do meio fez com que a área foliar por planta do milho no consórcio milho-braquiária reduzisse em 25% em relação ao consórcio milho-crotalária na safra 2018 e em 12% em relação ao milho solteiro na safra 2019 (Figura 4A e 4B). Evidencia-se, portanto, que em anos com melhores condições meteorológicas a competição entre a cultura de grãos e a forrageira é diminuída.

Silva et al. (2013), avaliaram as interações e interferências de densidades de *Urochloa ruziziensis* (0, 5, 10, 20 e 40 plantas m⁻²) no desempenho morfofisiológico do milho segunda safra. Na densidade de 20 plantas m⁻² de braquiária semeada simultaneamente com milho houve redução de 10% na área foliar do cereal em relação ao milho solteiro. Nesse caso, a competição do milho com a braquiária por espaço, água, luminosidade e nutrientes, que estão presentes em maior ou menor intensidade durante o ciclo do cereal de acordo com as condições meteorológicas e de manejo da cultura, contribuiu para a redução da área foliar.

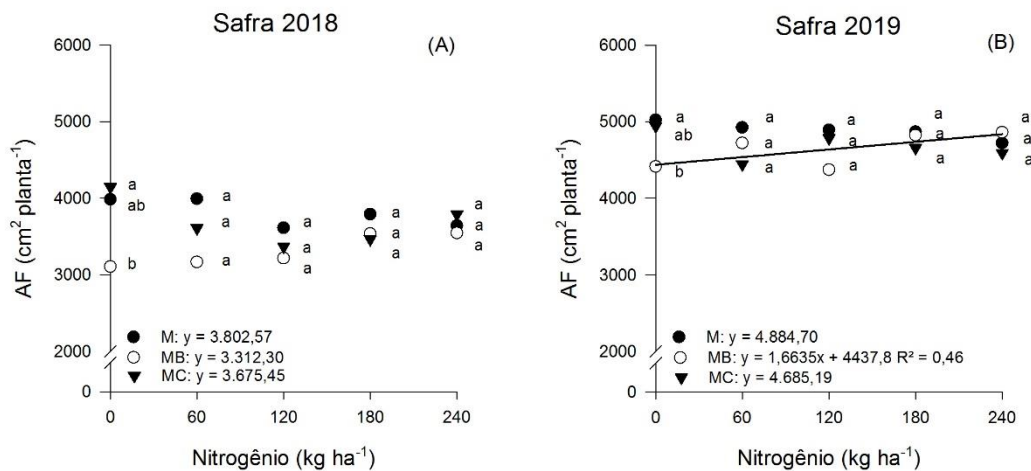


Figura 4 - Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre área foliar em R1 (AF) (A e B), em Londrina-PR, segunda safra 2018 e 2019. As médias seguidas pela mesma letra, em cada dose de nitrogênio, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. **Fonte:** o próprio autor.

Em ambas safras, com uso de nitrogênio não houve diferença entre as áreas foliares do milho solteiro e consorciado (Figura 4A e 4B). De acordo com Makino et al. (2019), a redução no índice de área foliar do milho consorciado com braquiária em relação ao o milho solteiro, ocorre devido à diminuição do teor de nutrientes disponíveis no solo do sistema consorciado, principalmente nitrogênio, dada a maior competição entre as culturas, causando redução no crescimento e desenvolvimento das plantas e em suas áreas foliares. Corroborando essas justificativas, na safra 2019, o incremento nas doses de nitrogênio aumentou linearmente a área foliar do milho consorciado com braquiária (Figura 4B), o que, entretanto, não foi observado na safra anterior (Figura 4A).

A massa seca do milho foi particionada em folhas, colmo, pendão e grãos buscando entender o efeito dos tratamentos sobre cada parte da planta. A massa seca do pendão

do milho em R1 apresentou ajuste linear com o aumento nas doses de nitrogênio na safra 2018 (Figura 5A). O acúmulo de massa seca nas diferentes partes da planta apresenta acentuado acréscimo no florescimento e início do enchimento de grãos, principalmente em lavouras de alto rendimento (KOSGEY et al., 2013). É possível que a dominância apical, juntamente com a ocorrência de chuvas que reduziram momentaneamente o déficit hídrico do solo no período próximo à R1 (Figura 1), podem ter contribuído para esse incremento na massa do pendão em reposta as doses de nitrogênio aplicadas em cobertura.

A massa seca de folha e de grãos em R6 foram maiores no milho solteiro do que no milho em consórcio com braquiária na safra 2019 (Figura 5B e 5C), resultado que demonstra a competição imposta pela braquiária, com consequente redução da massa dessas partes do milho. Fato corroborado por Silva et al. (2013), que constataram redução linear na massa seca de folhas com o aumento da densidade da braquiária, o que reduziu a capacidade fotossintética da planta e levou também a redução na massa seca dos grãos e da espiga.

Na safra 2018, o diâmetro do colmo corroborou os resultados de índice SPAD e de área foliar. Sem aplicação de nitrogênio em cobertura, o diâmetro do colmo do milho em consórcio com crotalaria foi maior que o do milho com braquiária, entretanto não houve diferença entre os sistemas quando se utilizou nitrogênio em cobertura (Figura 6).

Na primeira metade da fase de enchimento de grãos, período de alta atividade fotossintética e baixa capacidade de acúmulo de carboidratos pelos grãos, o colmo funciona como órgão de armazenamento, aumentando em massa e diâmetro (HAEGELE et al., 2013). Contudo, a competição interespecífica milho-braquiária pode atrasar o desenvolvimento do cereal e resultar em plantas com colmos de menor diâmetro, por causa do menor acúmulo de fotoassimilados e/ou estiolamento devido a competição (FIORENTIN et al., 2012), comprometendo a quantidade de reservas a serem translocadas para o enchimento dos grãos no momento de remobilização.

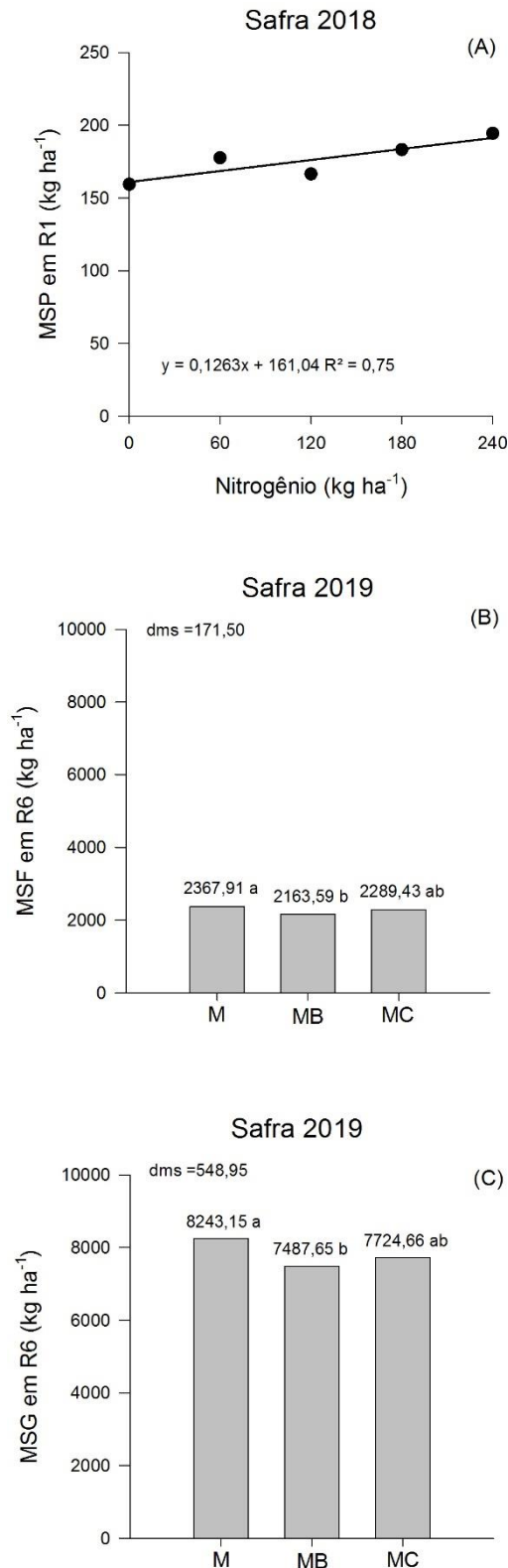


Figura 5 - Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) ou doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre a massa seca do pendão (MPS em R6) (A), da folha (MSF em R6) (B) e do grão (MSG em R6) (C) em R6, em Londrina-PR, segunda safra 2018 e 2019. As médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. **Fonte:** o próprio autor.

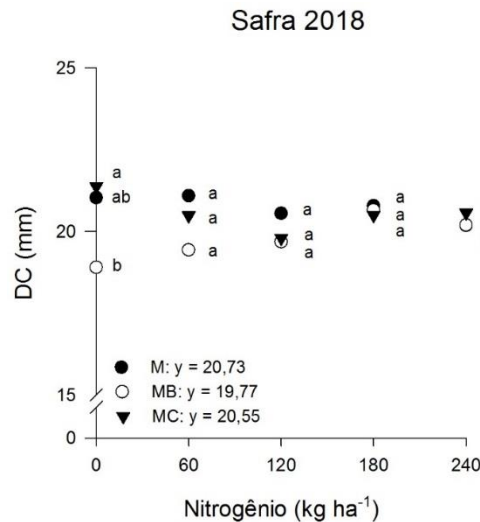


Figura 6 - Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre diâmetro do colmo (DC), em Londrina-PR, segunda safra 2018. As médias seguidas pela mesma letra, em cada dose de nitrogênio, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Pm: ponto mínimo. **Fonte:** o próprio autor.

A altura de planta na safra 2018, seguiu o mesmo padrão observado para o diâmetro de colmo em resposta aos sistemas de cultivo, com menores valores no consórcio milho-braquiária em relação ao consórcio milho-crotalária na ausência de adubação de cobertura, sem permanência dessa diferença com a aplicação de N (Figura 7A). De acordo com Chen et al. (2013), uma quantidade insuficiente de nitrogênio leva a redução no crescimento das plantas de milho por afetar principalmente a capacidade fotossintética e, conseqüentemente o acúmulo de biomassa e o crescimento da planta.

Os resultados do estudo demonstraram que a quantidade de nitrogênio no solo não foi suficiente para suprir as necessidades do milho consorciado com braquiária nas condições meteorológicas da safra 2018. Assim, a baixa disponibilidade de recursos ambientais, principalmente precipitação pluvial, aliada a competição com as plantas de *U. ruziziensis*, limitaram o crescimento das plantas de milho nesse sistema de cultivo, refletindo na menor altura de plantas.

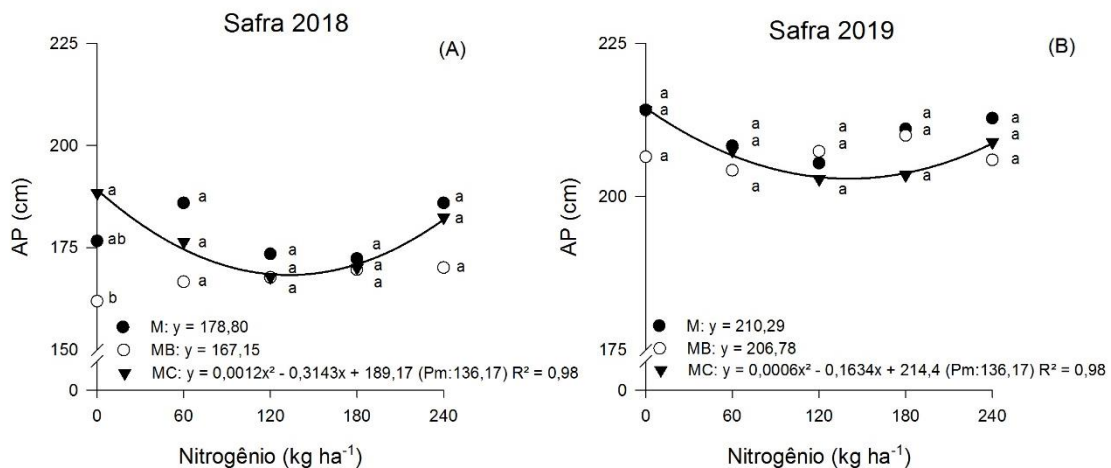


Figura 7 - Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre a altura de planta (AP) (A e B), em Londrina-PR, segunda safra 2018 e 2019. As médias seguidas pela mesma letra, em cada dose de nitrogênio, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Pm: ponto mínimo.
Fonte: o próprio autor.

Diferentemente do observado na safra 2018, na safra 2019, mesmo sem aplicação de nitrogênio não ocorreu diferença da altura entre o milho solteiro, o consorciado com braquiária e o consorciado com crotalária (Figura 7B). Ademais, a altura das plantas na safra 2019 foi maior que na safra 2018, evidenciando ambiente mais favorável ao crescimento do milho por causa da maior quantidade e melhor distribuição das chuvas ao longo do ciclo da cultura (Figura 1). Assim, na safra 2019, durante os estádios vegetativos até o pendoamento, momento em que a planta atinge a máxima altura, o milho consorciado manteve a altura estatisticamente igual à do milho solteiro, concordando com Gerlach et al. (2019).

A ausência de diferença entre os sistemas de cultivo, também foi observada para a altura de inserção da espiga (Figura 8), corroborando o resultado encontrado por Batista et al. (2020) avaliando o milho em consórcio com *C. spectabilis* e *U. ruziziensis*. Segundo esses autores a altura de inserção da espiga maior que 1,25 m é uma característica que deve ser considerada na escolha do híbrido a ser usado em sistema de consorciação, com a finalidade de facilitar a colheita. Mesmo na safra 2019, em que as condições meteorológicas foram melhores, essa altura mínima não foi atingida pela cultivar AG. 9010 PRO, resposta que pode ser inerente ao porte da cultivar ou à época de cultivo. A máxima altura de inserção da espiga foi de 80 cm, obtida no milho solteiro sem adubação nitrogenada em cobertura.

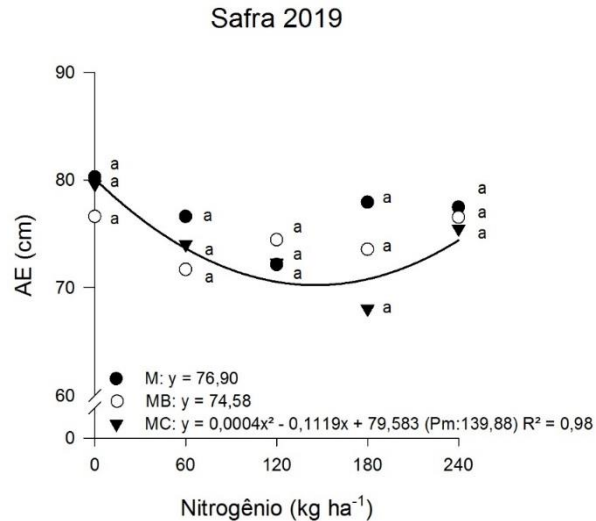


Figura 8 - Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre altura de inserção da espiga (AE), em Londrina-PR, segunda safra 2019. As médias seguidas pela mesma letra, em cada dose de nitrogênio, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Pm: ponto mínimo. **Fonte:** o próprio autor.

A altura da planta e da inserção da espiga do milho consorciado com *C. spectabilis* apresentou reposta quadrática com ponto de mínima reposta ao incremento do nitrogênio (Figura 7A, 7B e 8). Resultado que sugere a existência de competição da crotalária com o milho pelo nitrogênio, até cerca de 137 kg ha⁻¹ de nitrogênio, quando a partir dessa dose essas características voltam a aumentar. Isso ocorre provavelmente porque até as doses intermediárias a crotalária utiliza o nitrogênio da adubação e o proveniente da fixação para seu crescimento e desenvolvimento até que o nitrogênio começa a interferir no processo de fixação e acúmulo de biomassa pela crotalária, reduzindo sua competição com o milho nas doses mais altas.

Sem nitrogênio em cobertura, o número de espiga por planta do milho solteiro foi maior que o do milho com braquiária na safra 2018, entretanto não existiu diferença a partir da menor dose de nitrogênio utilizado em cobertura (Figura 9). Correia et al. (2012), avaliando duas formas de semeadura (a lanço e em linha) de *U. ruziziensis* 20 dias após a semeadura do milho safra, junto com a adubação nitrogenada de 75 kg ha⁻¹ e quantidades de sementes (2,7; 5,4; 8,2 e 10,9 kg ha⁻¹), verificaram que não houve diferença estatística entre o consórcio milho-braquiária e milho solteiro em relação ao número de espigas por planta. Essa ausência de competição entre as espécies ocorreu devido as melhores condições meteorológicas da safra associadas a semeadura tardia da braquiária, quando o milho já tinha se estabelecido. Diferente

do relatado pelos autores, no presente trabalho houve déficit hídrico severo em períodos críticos de composição da produtividade e a braquiária foi semeada simultaneamente ao milho, competindo com o cereal desde os estágios iniciais de desenvolvimento, sugerindo ser essa a explicação para a diferença no número de espigas por planta entre o milho solteiro e o consorciado com braquiária.

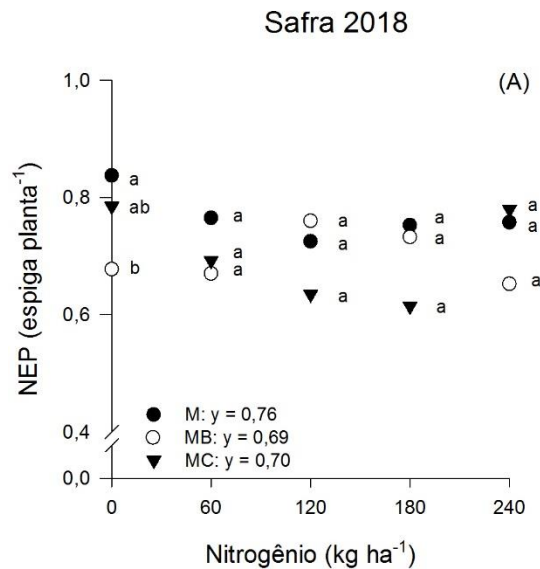


Figura 9 - Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre número de espiga por planta (NEP), em Londrina-PR, segunda safra 2018. As médias seguidas pela mesma letra, em cada dose de nitrogênio, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Pm: ponto máximo. **Fonte:** o próprio autor.

O incremento nas doses de nitrogênio em cobertura influenciou de forma quadrática o número de fileiras de grãos por espiga do milho solteiro na safra 2018, com ponto de máxima em 114,29 kg ha⁻¹ de nitrogênio (15,21 fileiras espiga⁻¹), e de formar linear do milho em consórcio com braquiária, 15,10 fileiras com 240 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 10A e 10B). Na safra 2019, período em que o déficit hídrico foi menor, a resposta linear pode ter ocorrido no milho consorciado com braquiária devido as melhores condições meteorológicas, as quais favoreceram o crescimento das plantas de milho e o aproveitamento e resposta ao nitrogênio.

Na safra 2018, o comportamento quadrático ocorreu em condições hídricas mais restritivas para o milho solteiro, limitando o crescimento e o aproveitamento do N aplicado em maiores doses. Esses efeitos condizem com os resultados obtido por Raasch et al. (2016) e Lange et al. (2014) que, testando doses de nitrogênio em cobertura no milho de segunda safra,

verificaram efeito quadrático com ponto máximo usando 124 kg ha⁻¹ (15,98 fileiras espiga⁻¹) e efeito linear crescente com 14,83 fileiras de grãos por espiga quando aplicada a dose máxima de 75 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

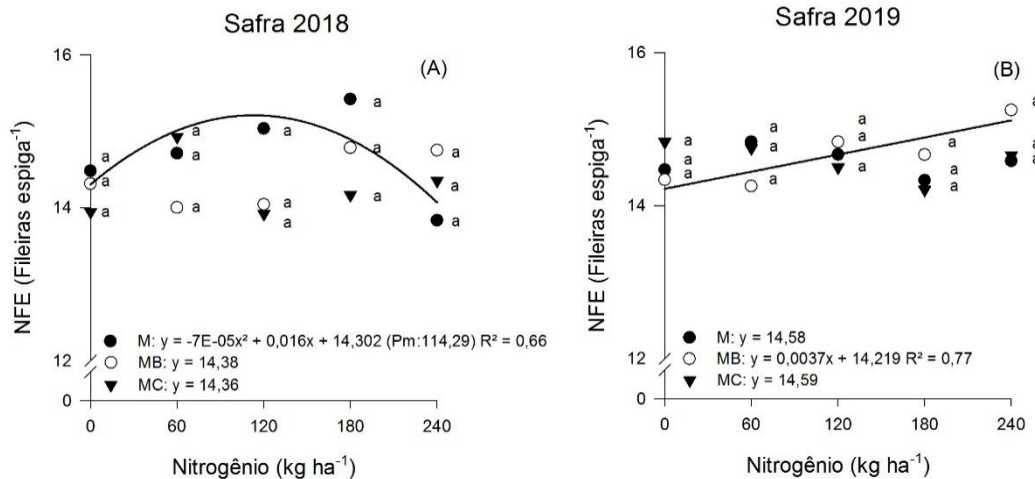


Figura 10 - Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre número de fileira por espiga (NFE) (A e B), em Londrina-PR, segunda safra 2018 e 2019. As médias seguidas pela mesma letra, em cada dose de nitrogênio, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Pm: ponto máximo. **Fonte:** o próprio autor.

Apesar do resultado positivo no presente trabalho, as variações do número de fileiras por espiga foram tênues, média de 6% em ambas safras (Figura 10A e 10B). Há estudos em que os resultados indicaram que não houve aumento significativo no número de fileiras por espiga mesmo com incremento na dose de nitrogênio em cobertura no milho segunda safra (FOLADOR et al., 2014; SICHOCKI, 2014). De acordo com Raasch et al. (2016) a divergência entre as respostas dos estudos ocorre porque este componente é dependente da genética do híbrido. Assim, respostas positivas do número de fileiras por espiga à adubação nitrogenada, são de baixa variação, como obtida no neste trabalho. Adicionalmente, na fase de determinação do número de fileiras por espiga, V6, as plantas estavam sob déficit hídrico o que pode ter reduzido o efeito do nitrogênio aplicado e dos sistemas de cultivo sobre essa característica.

Na safra 2019, o número de grãos por fileira do milho em consórcio com a braquiária foi menor que o do milho solteiro na ausência de nitrogênio e na dose de 60 kg ha⁻¹ de N. Nas demais doses de nitrogênio em cobertura, não houve diferença entre o milho solteiro e o milho em consórcio com braquiária (Figura 11A). Quando não limitado por outros fatores, a maior disponibilidade de N nos estádios próximos a V12 aumenta o potencial da planta em

diferir maior número de grãos por fileira, uma vez que a maior quantidade de N permite a maior expressão do potencial do híbrido para o número de óvulos e o tamanho da espiga formados, aumentando o número de grãos por fileira (CAMPOS et al., 2012). Assim, estresse hídrico ou nutricional nesse período reduzem o número de grãos por fileira (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014).

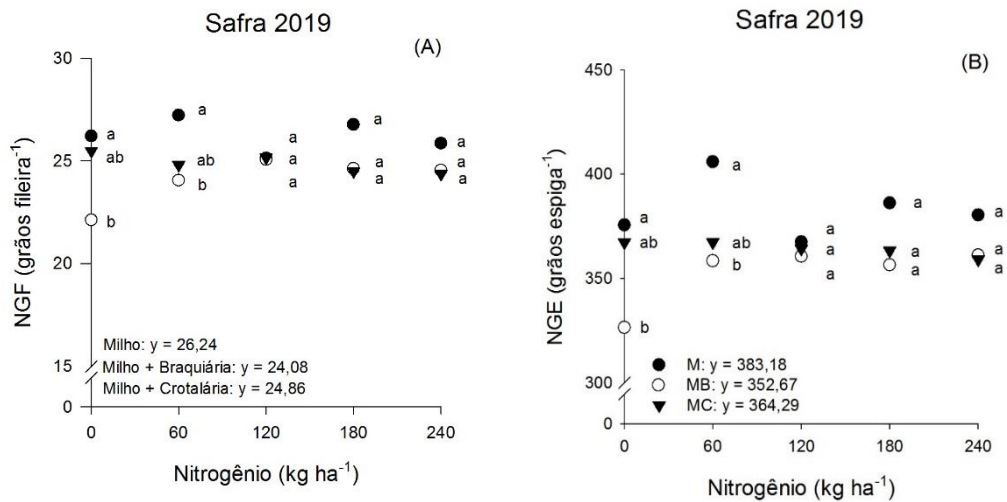


Figura 11 - Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre o número de grãos por fileira (NGF) (A) e número de grãos por espiga (NGE) (B), em Londrina-PR, segunda safra 2019. As médias seguidas pela mesma letra, em cada dose de nitrogênio, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Pm: ponto máximo. **Fonte:** o próprio autor.

Na safra 2019, o número de grãos por espiga do milho em consórcio com braquiária foi menor que o milho solteiro quando não utilizado N em cobertura e na dose de 60 kg ha⁻¹ (Figura 11B). Resultado que concorda com Ceccon et al. (2014), que avaliaram o desempenho do milho segunda safra consorciado com populações de plantas de *U. ruziziensis* e constataram que o milho solteiro produziu mais grãos por espiga do que consorciado com 20 plantas de braquiária m⁻², 384 e 321 grãos por espiga, respectivamente, demonstrando o efeito negativo da competição da braquiária no consórcio com o milho.

Por outro lado, Gonçalves et al. (2016) utilizando três doses de N (0, 40 e 80 kg ha⁻¹) no milho safra cultivado solteiro e em consórcio com *U. ruziziensis*, em espaçamento de 0,45 m, verificaram que o número de grãos por espiga do milho solteiro não diferiu do cultivo milho-braquiária. Segundo os autores a ausência de diferença para a característica pode ser devido à redução no espaçamento entrelinhas, favorecendo o crescimento e desenvolvimento

do milho sobre a forrageira, uma vez que o milho apresenta maior taxa de crescimento inicial sombreando a forrageira em virtude da competição pela radiação solar. Ademais, o experimento foi realizado no milho safra, quando as condições meteorológicas são mais favoráveis ao milho que as da segunda safra como nesse estudo.

Na safra 2019, a massa de mil grãos do milho consorciado com crotalária foi maior que a do milho consorciado com braquiária, sem uso de nitrogênio em cobertura, porém essa diferença extinguiu-se quando esse nutriente foi aplicado (Figura 12). O milho nos tratamentos consorciados não diferiram do milho solteiro para essa característica. Resultado que está de acordo com o obtido por Gerlach et al. (2019), que testando o consórcio do milho com diferentes leguminosas semeadas simultaneamente com o cereal em SPD durante três anos consecutivos, verificaram que a massa de mil grãos do milho solteiro e do milho em consórcio com *C. spectabilis* foram estatisticamente iguais.

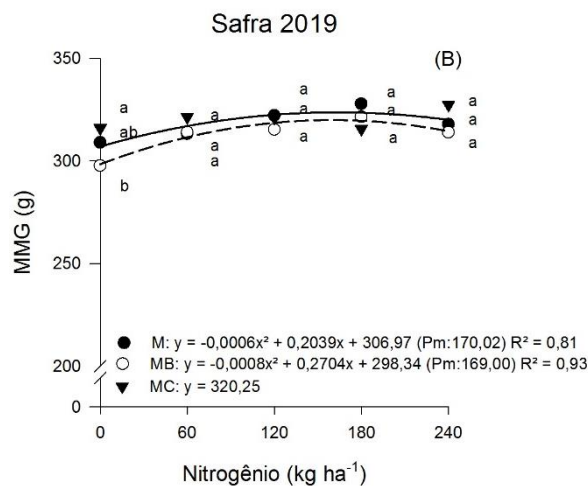


Figura 12 - Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M) – linha contínua; milho + *Urochloa ruziziensis* (MB) – linha tracejada; e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre a massa de mil grãos (MMG), em Londrina-PR, segunda safra 2019. As médias seguidas pela mesma letra, em cada dose de nitrogênio, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Pm: ponto máximo. **Fonte:** o próprio autor.

Da mesma forma, Borghi et al. (2012) também concluíram que não houve diferença entre a massa de mil grãos do milho solteiro e do milho consorciado com braquiária semeada simultaneamente. Assim, na presente pesquisa, a diferença ficou restrita aos milhos em consórcio na ausência de N em cobertura e pode ser explicada pela maior competição imposta pela *U. ruziziensis* no consórcio com o milho em comparação a imposta pela *C.*

spectabilis. Essa diferença de competição pode estar no metabolismo do carbono das espécies de cobertura, em que a *C. spectabilis* por apresentar metabolismo C3, torna-se menos competitiva em relação ao milho (GITTI et al., 2012).

A massa de mil de grãos apresentou ajuste quadrático ao uso de doses crescentes de nitrogênio em cobertura no milho solteiro e em consórcio com braquiária (Figura 11A). No milho solteiro o ponto de máxima foi 170 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura, com massa de mil grãos de 324 g e no milho em consórcio com braquiária foi 169 kg ha⁻¹ de N, com 321 g. Lange et al. (2014) também encontraram resposta quadrática, só que com ponto de máxima menor que o apresentado neste trabalho, 65 kg ha⁻¹, com 294 g. Da mesma maneira, Goes et al. (2013) constataram que a massa de mil grãos do milho consorciado com braquiária apresentou resposta quadrática ao incremento de doses de nitrogênio em cobertura (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹) sendo o maior valor 206 g obtido com 110 kg ha⁻¹.

Estudando os efeitos do parcelamento e de fontes nitrogenadas sobre parâmetros morfológicos e rendimento de grãos em híbridos de milho, Demari et al. (2018) verificaram que a magnitude da influência da massa de grãos por espiga na produtividade de grãos ocorre em função de aportes nutricionais, principalmente do nitrogênio, como visto no presente trabalho.

Na safra 2019, o milho em consórcio com *U. ruziziensis* apresentou produtividade inferior à do milho solteiro até o uso da dose mais baixa de N em cobertura, 60 kg ha⁻¹ (Figura 13). Sem nitrogênio em cobertura, a produtividade do milho no consórcio com braquiária foi 7.747 kg ha⁻¹, 16,31% menor que a do milho solteiro e, com 60 kg ha⁻¹ N, a produtividade do milho consorciado com braquiária foi 7.070 kg ha⁻¹, 14,12% abaixo da obtida com o milho solteiro (8.232 kg ha⁻¹). Essa diferença entre a produtividade ocorreu devido à competição entre o milho e a braquiária pelos recursos do meio, de forma que a braquiária prejudica o desempenho e limita produtividade do cereal na ausência ou em baixo suprimento de adubação nitrogenada em cobertura.

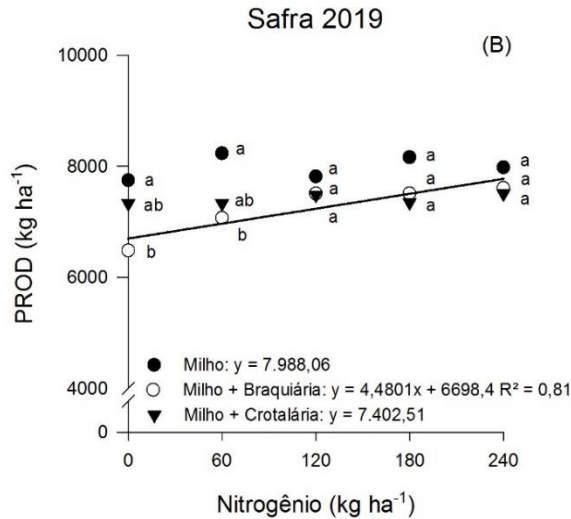


Figura 13 - Efeito de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre e produtividade de grãos (PROD) (B), em Londrina-PR, segunda safra de 2019. As médias seguidas pela mesma letra, em cada dose de nitrogênio, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. **Fonte:** o próprio autor.

A partir da dose de 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, não houve diferença entre a produtividade do milho no consórcio milho-braquiária (7.485 kg ha⁻¹) e do milho solteiro (7.817 kg ha⁻¹). Esse resultado corrobora o de Almeida et al. (2017), que estudando uso de nitrogênio na semeadura (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) no milho solteiro e consorciado com *U. ruziziensis* na safra, verificaram que a produtividade de grãos foi reduzida pelo consórcio até a adubação nitrogenada de 100 kg ha⁻¹. Quando se utilizou 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio, a produtividade do milho solteiro e do milho consorciado com braquiária atingiram mais de 10.000 kg ha⁻¹ e não diferiram. Isso ocorre porque a formação do grão é altamente relacionada com a translocação de assimilados e nitrogênio em órgãos vegetativos (BATISTA et al., 2019a), de modo que em condições ambientais não restritivas, o maior suprimento de N reduz o efeito negativo da braquiária sobre o milho.

A produtividade do milho no consórcio com braquiária aumentou linearmente com o incremento das doses de N em cobertura, com acréscimo de 4,48 kg ha⁻¹ de grãos para kg de N aplicado. Testando o efeito de doses (0, 25, 50 e 75 kg ha⁻¹ de N) e fontes de nitrogênio em cobertura no milho em consórcio com *U. brizantha*, Lange et al. (2014) também obtiveram aumento linear da produtividade do cereal. De acordo com esses autores, o comportamento linear obtido ocorreu devido à baixa dose máxima de nitrogênio em cobertura testada (75 kg ha⁻¹) associada a maior exigência pelo nutriente no cultivo milho-braquiária. Os autores ainda

acrescentam que as condições meteorológicas favoráveis foi outro fator que pode ter contribuído para essa resposta. A precipitação pluviométrica de 900 mm durante o ciclo do cereal garantiu adequado crescimento, desenvolvimento e maior exigência de nitrogênio pelas plantas. Resultado corroborado pelo presente trabalho, em que a resposta linear do milho em consórcio com braquiária pode ser explicada pela maior exigência entre as espécies consorciadas pelo nitrogênio nas melhores condições hídricas da safra 2019.

A resposta da produtividade do milho consorciado com *U. ruziziensis* às doses de nitrogênio em cobertura (Figura 13), mostra a necessidade de adubação nitrogenada no milho segunda safra nesse sistema de cultivo. Batista et al. (2019b) avaliaram o teor de macronutrientes e eficiência de uso do nitrogênio aplicado em cobertura (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹) no milho segunda safra solteiro e em consórcio com *U. ruziziensis* em SPD e constataram que o consórcio milho segunda safra com braquiária exige um gerenciamento da adubação nitrogenada com a finalidade de complementar a quantidade de nitrogênio fornecida pelo solo para evitar a concorrência entre as plantas consorciadas e melhorar desempenho fisiológico e agrônomico dessas plantas quando consorciadas em um SPD.

O milho em consórcio com *C. spectabilis* não teve seu crescimento, desenvolvimento ou produtividade comprometidos pela leguminosa, de maneira que nesse consórcio o milho não diferiu do milho solteiro quanto a nenhuma das características avaliadas. Na safra 2018, o déficit hídrico em conjunto com as baixas temperaturas no final do ciclo do milho comprometeu o crescimento e o acúmulo de massa pela crotalária. Na safra 2019, o déficit hídrico foi menor e as temperaturas mais adequadas à crotalária permitindo maior crescimento da leguminosa, mas, ainda assim, não houve interferência sobre o crescimento e desempenho produtivo do milho.

Portanto, a utilização do consórcio milho-crotalária pode ser uma importante alternativa em locais onde não haja déficit hídrico e baixas temperaturas na segunda safra, pois a *C. spectabilis* semeada na entrelinha apresenta baixa competição com o milho, permite a produção de palhada para proteger o solo, aumenta a fertilidade do solo através da fixação de nitrogênio atmosférico, o teor de matéria orgânica, não reduz a produtividade de grãos de milho e não prejudica as operações de colheita (ANANTHI et al., 2017; SOUZA et al., 2019).

Na safra 2018, o milho foi semeado dia 16 de março. Na safra 2019, a semeadura ocorreu dia 06 de março. É possível que a antecipação da semeadura nas duas safras reduzisse os efeitos negativos do déficit hídrico sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade do milho, contudo nem sempre é possível antecipar a semeadura devido ao atraso

no ciclo da cultura antecessora ou devido à condição hídrica do solo para a implantação do milho (CRUZ et al., 2017).

De acordo com Simão et al. (2018) a época de semeadura define as condições de disponibilidade hídrica e influencia a produtividade do milho segunda safra, de forma que a semeadura realizada mais cedo favorece a produtividade do cereal por conciliar melhor a distribuição de chuvas no final da fase de desenvolvimento vegetativo e na fase reprodutiva, enquanto que os cultivos de semeadura tardia são especialmente afetados pelo déficit hídrico nas fases mais avançadas e críticas do ciclo, o que compromete o potencial produtivo da cultura.

Os efeitos positivos da antecipação da semeadura sobre o milho seriam, provavelmente, mais evidentes na safra 2018, em que a média de produtividade foi baixa (Tabela 1). A antecipação da semeadura permitiria condições meteorológicas mais favoráveis para um crescimento inicial mais rápido do cereal em relação as culturas de cobertura, proporcionando melhor estabelecimento da cultura para tolerar as condições mais restritivas da segunda safra.

Logo, a maior quantidade de vegetação no consórcio milho-braquiária em relação ao milho solteiro sugere a maior competição interespecífica pelos recursos do ambiente, como água e nitrogênio, o que pode limitar o crescimento e desenvolvimento do milho, como visto na redução na área foliar e no índice SPAD, indicando competição por esse nutriente nas condições edáficas e meteorológicas do experimento. Essa limitação da fonte de fotoassimilados devido à competição refletiu no diâmetro do colmo, altura da planta, grãos por fileira, grão por espiga e massa de grãos, com conseqüente efeito sobre a produtividade. Entretanto, pode-se observar que o suprimento de nitrogênio em cobertura ao milho consorciado com braquiária reduziu a competição pelo nutriente devido à maior oferta, extinguindo o efeito negativo da competição imposta pela braquiária, de modo que as respostas se tornaram semelhantes ao milho solteiro.

3.4 CONCLUSÕES

Em Latossolo Vermelho distroférico, com elevados teores nutricionais e matéria orgânica sob condições de restrição hídrica, na ausência de adubação nitrogenada e com uso de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura, o consórcio com *U. ruziziensis* reduz o crescimento e o desempenho produtivo do milho.

A adubação nitrogenada de cobertura no milho segunda safra em consórcio com *U. ruziziensis* minimiza a competição da forrageira sobre o crescimento do milho e proporciona, em doses superiores a 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, desempenho produtivo similar ao cereal solteiro em SPD.

O consórcio com *C. spectabilis* não altera o crescimento e o desempenho produtivo do milho, bem como a resposta a doses de N aplicada em cobertura em relação ao sistema de milho solteiro na segunda safra.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. E. M.; FAVARIN, J. L.; OTTO, R.; PIEROZAN, C.; OLIVEIRA, S. M.; TEZOTTO, T.; LAGO, B. C. Effects of nitrogen fertilization on yield components in a corn-palisadegrass intercropping system. **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v. 11, n. 3, p. 352, 2017.
- AL-NAGGAR, A. M. M.; SHABANA, R. A.; ATTA, M. M.; AL-KHALIL, T. H. Maize response to elevated plant density combined with lowered N-fertilizer rate is genotype-dependent. **The Crop Journal**, v. 3, n. 2, p. 96-109, 2015.
- ANANTHI, T.; UGC, P. D. F. A review on maize-legume intercropping for enhancing the productivity and soil fertility for sustainable agriculture in India. **Advances in Environmental Biology**, Washington, v. 11, n. 5, p. 49-63, 2017.
- 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**, Brasília, v. 52, n. 8, p. 592-598, 2017.
- BASSI, D.; MENOSSI, M.; MATTIELLO, L. Nitrogen supply influences photosynthesis establishment along the sugarcane leaf. **Scientific reports**, Londres, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2018.
- BATISTA, K.; DUARTE, A. P.; CECCON, G.; MARIA, I. C. D.; CANTARELLA, H. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em forrageiras consorciadas com milho safrinha em função da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1154-1160, 2011.
- BATISTA, K.; GIACOMINI, A. A.; GERDES, L.; DE MATTOS, W. T.; OTSUK, I. P. Nitrogen fertilisation improves the grain production efficiency and sustainability of out-of-season corn and Congo grass intercropping. **Soil Research**, Melbourne, v. 57, n. 4, p. 397-407, 2019b.
- BATISTA, V. V.; GIARETTA, R.; LINK, L.; GIACOMEL, C. L.; ADAMI, P. F. Densidades de plantas e níveis de nitrogênio no desempenho de híbridos de milho em safrinha. **Revista Nativa**, Sinop, v. 7, n. 2, p. 117-125, 2019a.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014. 84 p.
- BORGHI, É.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; MATEUS, G. P.; MARTINS, P. O.; COSTA, C. Effects of row spacing and intercrop on maize grain yield and forage production of palisade grass. **Crop and Pasture Science**, Clayton South, v. 63, n. 12, p. 1106-1113, 2012.

CARMO, M. S.; CRUZ, S. C. S.; DE SOUZA, E. J.; CAMPOS, L. F. C.; MACHADO, C. G. Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura de milho doce (*Zea mays* convar. *saccharata* var. *rugosa*). **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, 2012.

CECCON, G.; DA SILVA, J. F.; NETO, A. L. N.; MAKINO, P. A.; DOS SANTOS, A. Produtividade de milho safrinha em espaçamento reduzido com populações de milho e de *Brachiaria*. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 3, p. 326-335, 2014.

CHEN, J. W.; YANG, Z. Q.; ZHOU, P.; HAI, M. R., TANG; T. X., LIANG; Y. L.; AN, T. X. Biomass accumulation and partitioning, photosynthesis, and photosynthetic induction in field-grown maize (*Zea mays* L.) under low-and high-nitrogen conditions. **Acta Physiologiae Plantarum**, Cracóvia, v. 35, n. 1, p. 95-105, 2013.

CHIEZA, E. D.; GUERRA, J. G. M.; ARAÚJO, E. S.; ESPÍNDOLA, J. A.; FERNANDES, R. C. Produção e aspectos econômicos de milho consorciado com *Crotalaria juncea* L. em diferentes intervalos de semeadura, sob manejo orgânico. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n.2, p. 189-196, 2017.

CHIODEROLI, C. A.; DE MELLO, L. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E.; SILVA, J. O.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, p. 37-43, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

CORREIA, N. M.; LEITE, M. B.; FUZITA, W. E. Consórcio de milho com *Urochloa ruziziensis* e os efeitos na cultura da soja em rotação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, p. 65-76, 2013.

CRUZ, J. C.; FILHO PEREIRA, I. A.; ALVARENGA, R. C. In: GALVÃO, J. C. C. BOREM, A.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2017. p. 76-106.

DEMARI, G. H.; CARVALHO, I. R.; SZARESKEI, V. J.; FOLLMANN, D. N.; DE SOUZA, V. Q.; BASSO, C. J. Fontes e parcelamento do nitrogênio em híbridos de milho geneticamente modificados. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 17, n. 3, p. 325-335, 2018.

ESQUERDO, J. C. D. M.; ZULLO JÚNIOR, J.; ANTUNES, J. F. G. Use of NDVI/AVHRR time-series profiles for soybean crop monitoring in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 13, p. 3711-3727, 2011.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FIorentin, C. F.; LEMOS, L. B.; FORNASIERI FILHO, D.; JARDIM, C. A. Influência da consorciação com *Brachiaria ruziziensis* e do nitrogênio residual na cultura do milho. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 35, n. 1, p. 184-192, 2012.

FOLADOR, G. L.; ASSMANN, J. E.; AGUIAR, G. C. de. Nitrogênio em cobertura em diferentes densidades de milho de segunda safra. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 7, n. 3, p. 242 - 253, 2014.

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 Agrônômica**, Fortaleza, v.45, p.999-1005, 2014.

FREITAS, R. J. D.; NASCENTE, A. S.; SANTOS, F. L. D. S. Population of maize plants intercropped with *Urochloa ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 79-87, 2013.

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**, Campina Grande, v. 18, n. 7, 2014.

GERLACH, G. A. X.; SILVA, J. C.; ARF, O. Resposta do milho em consórcio com adubos verde no sistema plantio direto. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 8, n. 2, p. 134-146.

GITTI, D. C.; ARF, O.; VILELA, R. G.; PORTUGAL, J. R.; KANEKO, F. H.; RODRIGUES, R. A. F. Épocas de semeadura de crotalária em consórcio com milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n. 2, p. 156-158, 2012.

GOES, R. J.; RODRIGUES, R. A. F.; TAKASU, A. T.; ARF, O. Características agronômicas e produtividade do milho sob fontes e doses de nitrogênio em cobertura no inverno. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 3, p. 250-259, 2013.

GONÇALVES, A. K. D. A.; SILVA, T. R. B. D.; BRANDÃO, A. G. Manejo de adubação nitrogenada em milho solteiro e em consorciado com *Brachiaria ruziziensis*. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.15, n.2, p. 318-327, 2016.

HAEGELE, J. W.; COOK, K. A.; NICHOLS, D. M.; BELOW, F. E. Changes in nitrogen use traits associated with genetic improvement for grain yield of maize hybrids released in different decades. **Crop Science**, Madison, v. 53, p. 1256-1268, 2013.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Atlas Climático do Paraná**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=2533>>. Acesso em: 10 de jan. 2020.

KAPPES, C.; DE CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M.; DA SILVA, J. A. N. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, p. 251-259, 2009.

- KAPPES, C.; ZANCANARO, L. Sistemas de consórcios de braquiária e de crotalárias com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 2, p. 219-234, 2015.
- KOSGEY, J. R.; MOOT, D. J.; FLETCHER, A. L.; MCKENZIE, B. A. Dry matter accumulation and postsilking N economy of stay green maize (*Zea mays* L.) hybrids. **European Journal of Agronomy**, v. 51, p. 43-52, 2013.
- LANGE, A.; CAIONE, G.; SCHONINGER, E. L.; SILVA, R. G. Produtividade de milho safrinha em consórcio com capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 1, p. 35-47, 2014.
- MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n. 1, p.133-146, 2009.
- MAHAMA, G. Y.; VARA PRASAD, P. V.; ROOZEBOOM, K. L.; NIPPERT, J. B.; RICE, C. W. Response of maize to cover crops, fertilizer nitrogen rates, and economic return. **Agronomy Journal**, Madson, v. 108, n. 1, p. 17-31, 2016.
- MAKINO, P. A.; CECCON, G.; FACHINELLI, R. Produtividade e teor de nutrientes em populações de milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 18, n. 2, p. 206-220, 2019.
- NETO, A. L.; DA SILVA, J. F.; DOS SANTOS, A.; PADILHA, N. D. S.; MAKINO, P. A.; CECCON, G. Morphophysiology and yield of late season maize intercropped with urochloa in reduced row spacing. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 3, p. 227-239, 2013.
- OLIVEIRA, L. A.; DE MIRANDA, J. H.; COOKE, R. A. Water management for sugarcane and corn under future climate scenarios in Brazil. **Agricultural Water Management**, Auckland, v. 201, p. 199-206, 2018.
- OLIVEIRA, P. D.; KLUTHCOUSKI, J.; FAVARIN, J. L.; SANTOS, D. D. C. Sistema Santa Brígida-Tecnologia Embrapa: consorciação de milho com leguminosas. **Circular Técnica**, 88. Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010.
- PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; DE ALMEIDA MACHADO, P. L. O.; DE ASSIS, R. L.; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 17-25, 2011.
- PADILLA, F. M.; GALLARDO, M.; PEÑA-FLEITAS, M. T.; DE SOUZA, R.; THOMPSON, R. B. Proximal optical sensors for nitrogen management of vegetable crops: A review. **Sensors**, Basiléia, v. 18, n. 7, p. 2083, 2018.
- PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; BERNINI, C. S.; GUIMARÃES, P. S.; RODRIGUES, C. S. Estratégias de melhoramento para tolerância à seca em germoplasma de milho tropical. **Singular Meio Ambiente e Agrárias**, Palmas, v. 1, n. 1, p. 19-24, 2019.

- PERECIN, D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos fatoriais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, 68-72, 2008.
- RAASCH, H.; SCHONINGER, E. L.; NOETZOLD, R.; DA COSTA VAZ, D.; DA SILVA, J. D. Doses de nitrogênio em cobertura no milho de segunda safra em Nova Mutum–MT. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 4, n. 4, p. 517-529, 2016.
- RAMBO, L.; SILVA, P. R. F. D.; STRIEDER, M. L.; SILVA, A. A. D.; SANGOI, L.; VIEIRA, V. M. Índices nutricionais de N e produtividade de milho em diferentes níveis de manejo e de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 4, p. 390-397, 2011.
- SANGOI, L.; PANISON, F.; DURLI, M. M.; LEOLATO, L. S.; COELHO, A. E.; KUNESKI, H. F.; OLIVEIRA, V. L. (2019). Acúmulo de fitomassa do milho após o espigamento em função do parcelamento da cobertura nitrogenada. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 18, n. 1, p. 61-73, 2019.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SHIOGA, P. S.; GERAGE, A. C.; ARAÚJO, P. M.; BIANCO, R.; BARROS, A. S. R.; CUSTÓDIO, A. A. P. Avaliação estadual de cultivares de milho segunda safra 2016. **Boletim Técnico**, 88. Londrina: IAPAR, 2016. 52 p.
- SIBALDELLI, R. N. R.; FARIAS, J. R. B. Boletim agrometeorológico da Embrapa Soja Londrina, PR-2014. **Documento**, 399. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 29 p.
- SICHOCKI, D.; GOTT, R. M.; FUGA, C. A. G.; AQUINO, L. A.; RUAS, R. A. A.; NUNES, P. H. M. P. Resposta do milho safrinha à doses de nitrogênio e de fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 1, p. 48-58, 2014.
- SILVA, J. F.; NETO, N.; SANTOS, A. D.; CECCON, G. Morphophysiology of late season maize at reduced spacing and intercropped with *Urochloa ruziziensis*. **Revista Agrarian**, Grande Dourados, v. 6, n. 21, p. 259-267, 2013.
- SIMÃO, E. D. P.; RESENDE, A. V.; GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E.; VANIN, A. Resposta do milho safrinha à adubação em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.17, n.1, p. 76-90, 2018.
- SOUZA, R. T.; VALADÃO, F. C. A.; JÚNIOR, D. D. V.; GUIMARÃES, P. R.; DE PAULA, V. R. R. Maize-crotalaria intercropping systems. **Revista Semina**, Londrina, v. 40, n. 4, p. 1455-1468, 2019.

VIAN, A. L.; BREDEMEIER, C.; DA SILVA, P. R. F.; SANTI, A. L.; GIORDANO, C. P. D. S. Limites críticos de NDVI para estimativa do potencial produtivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 17, n. 1, p. 91-100, 2018.

YOKOYAMA, A.; RIBEIRO, R. H.; BALBINOT JR, ALVADI ANTONIO; FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; ZUCARELI, C. Índices de área foliar e SPAD da soja em função de culturas de entressafra e nitrogênio e sua relação com a produtividade. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, p. 953-962, 2018.

4 ARTIGO B: DESEMPENHO AGRONÔMICO DA SOJA EM SUCESSÃO AO MILHO SOLTEIRO E CONSORCIADO COM BRAQUIÁRIA OU CROTALÁRIA, SUBMETIDO A DOSES DE NITROGÊNIO

RESUMO

O consórcio do milho segunda safra com braquiária ou crotalária, associado ao aumento do aporte de nitrogênio no sistema, pode aumentar a produção de palhada e melhorar crescimento e a produtividade da soja em sucessão. Objetivou-se avaliar o desempenho agrônomo da soja em sucessão ao milho segunda safra cultivado sob doses crescentes de nitrogênio, solteiro e consorciado com braquiária (*Urochloa ruziziensis*) ou crotalária (*Crotalaria spectabilis*). A soja foi cultivada no verão de 2018/2019 e 2019/2020, em Londrina/PR, em um Latossolo Vermelho distroférico com textura muito argilosa, manejado em Sistema Plantio Direto (SPD) há 10 anos. O delineamento experimental utilizado foi blocos completos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pelo cultivo do milho solteiro (cv. AG 9010 PRO), consorciado com braquiária ou com crotalária e as subparcelas pelas doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no estádio V4 e parceladas a partir da dose de 120 kg ha⁻¹ em V4 e V8, na forma de nitrato de amônio (33% de N). No verão, em sucessão ao milho, foi cultivada a soja (cv. BRS 1003 IPRO). As características avaliadas foram: massa seca do milho antes da colheita, da braquiária e da crotalária antes da dessecação e total nos sistemas de cultivo; densidade inicial de plantas de soja; índice SPAD, índice de vegetação por diferença normalizada, índice de área foliar e massa seca em V4, R2 e R5.1; altura de inserção da primeira vagem; altura da planta; número de vagens por metro quadrado; número de grãos por vagem; massa de mil grãos; índice de colheita aparente; e produtividade de grãos da soja. Em Latossolo Vermelho distroférico, com elevados teores nutricionais e matéria orgânica sob condições de restrição hídrica, o incremento do nitrogênio em cobertura no milho segunda safra, independentemente do sistema de cultivo, aumenta o crescimento e desempenho produtivo da soja em SPD. O milho segunda safra consorciado com braquiária proporciona maior quantidade de palhada no SPD que o milho solteiro ou consorciado com crotalária, sem reflexos no crescimento e desempenho produtivo da soja cultivada em sucessão.

Palavras-chave: *Glycyne max* L. *Zea mays* L. *Urochloa ruziziensis*. *Crotalaria spectabilis*. Sucessão de culturas. Restos culturais. Diversificação de culturas. Culturas de Cobertura.

ARTICLE B: PERFORMANCE OF SOYBEAN GROWN IN SUCCESSION TO SECOND CROP SINGLE CORN OR INTERCROPPED WITH BRACHIARIA OR CROTALARIA, SUBMITTED TO NITROGEN DOSES

ABSTRACT

The intercropping of off-season corn with brachiaria or crotalaria, associated with the increase in nitrogen supply in the system, can increase straw production and improve soybean growth and productivity in succession. The objective was to evaluate the agronomic performance of soybean in succession to off-season corn grown under increasing nitrogen rates, single and intercropped with brachiaria (*Urochloa ruziziensis*) or crotalaria (*Crotalaria spectabilis*). Soybeans were grown in the summer of 2018/2019 and 2019/2020, in Londrina/PR, in a Latossolo Vermelho distroférrico with a very clayey texture, managed in a no-till system for 10 years. The experimental design used was a complete randomized blocks, in a split-plot scheme, with four replicates. The plots were constituted by the cultivation of single corn (cv. AG 9010 PRO), intercropped with brachiaria or crotalaria and the subplots by nitrogen top-dressing rates (0, 60, 120, 180 and 240 kg ha⁻¹) at the stage V4 and parceled from the dose 120 kg ha⁻¹ in V4 and V8, using ammonium nitrate (33% N) as source. In the summer, soybeans were grown (cv. BRS 1003 IPRO) in succession to corn. The evaluated characteristics were: dry mass of corn, brachiaria, crotalaria and total of cultivation systems; initial density of soybean plants; SPAD index; normalized difference vegetation index; leaf area index; dry mass in V4, R2 and R5.1; first pod insertion height; plant height; number of pods per square meter; number of grains per pod; thousand grain mass; apparent harvest index; and soybean grain productivity. The increase in nitrogen top-dressing in off-season corn, regardless of the cultivation system, increases the growth and productive performance of soybeans in no-till system. Off-season corn intercropped with brachiaria provides a greater amount of straw in the no-till system than single corn or intercropped with crotalaria, with no impact on the growth and productive performance of soybean grown in succession.

Key words: *Glycyne max.* *Zea mays* L. *Urochloa ruziziensis*. *Crotalaria spectabilis*. Succession of cultures. Cultural remains. Crop diversification. Cover crops.

4.1 INTRODUÇÃO

A soja cultivada no verão seguida pelo milho segunda safra é o principal sistema de produção agrícola do Brasil e juntas representam a maior parte da produção nacional de grãos (CONAB, 2020). Entretanto, o uso da sucessão soja/milho ao longo dos anos de modo consecutivo pode gerar problemas, como aumento na ocorrência de plantas daninhas, pragas, doenças de difícil controle e degradação do solo (DEBIASI et al., 2015).

Para minimizar os problemas decorrentes do cultivo em sucessão e maximizar a produtividade de grãos, é comum a adoção de práticas de manejo que promovam benefícios ao sistema solo-planta. A utilização do SPD, consórcio de culturas produtoras de grãos com forrageiras ou cobertura vegetal (GITTI et al., 2012), e modelos de produção mais diversificados quanto às espécies cultivadas, são exemplos de técnicas que contribuem para a conservação do solo e para o manejo sustentável das culturas.

A eficiência do SPD, predominante nas áreas de produção de soja do Brasil, é dependente da quantidade e diversidade da biomassa da parte aérea e radicular produzida pelas culturas para cobertura do solo (MACEDO, 2009; BALBINOT JUNIOR et al., 2017; RIBEIRO et al., 2019). A quantidade e persistência desses resíduos é um importante fator para proteção e melhorias da estrutura do solo, refletindo na infiltração de água, redução da temperatura superficial do solo e aumento da estabilidade dos agregados (SILVA et al., 2011).

Nesse contexto, o cultivo do milho segunda safra consorciado com culturas de cobertura como a braquiária ou a crotalária é bastante promissor. Espécies do gênero *Urochloa* possuem capacidade de produção de fitomassa com alta relação C/N e lignina/N (TIMOSSI et al., 2007), que proporciona a formação e a persistência de cobertura de solo (FRANCHINI et al., 2015) e elevada ciclagem de nutrientes (PACHECO et al., 2011). Além disso, são plantas que possuem facilidade de dessecação para implantação de culturas em sucessão (MACHADO; ASSIS, 2010) e mostram-se eficientes na supressão de plantas daninhas no cultivo de soja subsequente (CONCENÇO, et al., 2015).

Por sua vez, a utilização de leguminosas constitui um manejo favorável ao aumento do teor e disponibilidade de nitrogênio nos solos para as culturas subsequentes, devido a fixação biológica e aos teores do nutriente na matéria vegetal (TEIXEIRA et al., 2009; ALBUQUERQUE et al., 2013). Além disso, o cultivo de leguminosas contribui para a ciclagem de outros nutrientes e para o controle de nematoides, no caso de uso de crotalárias (GITTI et al., 2012).

Dessa forma, tais consórcios cultivados na segunda safra proporcionam mudanças nos atributos físicos do solo, por meio do controle e/ou prevenção da compactação e aumento na porosidade nas camadas superficiais e subsuperficiais do solo, proporcionando maior crescimento de raízes de soja cultivada em sucessão (RIBEIRO et al., 2019) e maior produtividade de grãos (BALBINOT JUNIOR et al., 2017; YOKOYAMA et al., 2018).

Entretanto, a inserção de culturas de cobertura em consórcio com o milho altera a demanda por nutrientes. Assim, o fornecimento nutricional adequado é outro aspecto que deve ser levado em consideração no manejo de sistemas de produção com culturas consorciadas. Culturas produtoras de grãos e de cobertura podem ter a produtividade de grãos ou massa vegetal, respectivamente, limitada pelo suprimento inadequado de nutrientes, como o nitrogênio (RAASCH et al., 2016).

É comum produtores reduzirem ou não realizarem a adubação nitrogenada no milho segunda safra, alegando risco de produção e menor resposta das plantas de milho nesse período devido às condições limitantes de temperatura, luminosidade e precipitação pluviométrica e/ou da semeadura após uma leguminosa, caso da soja. Contudo, o aporte de nitrogênio em cobertura no milho segunda safra pode influenciar o crescimento e desenvolvimento do milho e da cultura de cobertura e proporcionar benefícios para a soja cultivada em sucessão (KAPPES et al., 2009).

Os benefícios da diversificação das plantas do sistema com potencial diferenciado de ciclagem, de produção e qualidade de biomassa e de exploração radicular do solo podem proporcionar condições que favorecem o estabelecimento e desenvolvimento da cultura em sucessão (ARF et al., 2018). Nesse sentido, o consórcio do milho segunda safra com braquiária ou crotalária, associado ao aumento do aporte de N no sistema, pode aumentar a produção de biomassa, refletindo-se em melhor desempenho agrônomo da soja em sucessão em SPD.

Objetivou-se avaliar o desempenho agrônomo da soja em sucessão ao milho segunda safra cultivado sob doses crescentes de nitrogênio, solteiro e consorciado com braquiária (*Urochloa ruziziensis*) ou crotalária (*Crotalaria spectabilis*).

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Descrição da Área Experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, Londrina, PR (latitude 23°11'S, longitude 51°11'W e altitude de 620 m), nas safras de 2018/2019 e 2019/2020, na mesma área experimental em um Latossolo Vermelho distroférico (SANTOS et al., 2018), com 710 g argila kg⁻¹, 82 g silte kg⁻¹ e 208 g areia kg⁻¹ de solo, manejado em SPD há 10 anos.

De acordo com a classificação de Köppen o clima da região é tipo Cfa, descrito como subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes (IAPAR, 2020). Os dados de precipitação pluvial e temperatura durante a execução dos experimentos foram coletados em estação meteorológica, distante 500 metros da área experimental, e utilizados para confecção do extrato do balanço hídrico climatológico sequencial do período (Figura 1).

Antes da instalação do experimento, foram coletadas na área amostras de solo de 0-20 cm de profundidade na área e realizada a análise química, cujos resultados foram: 5,09 pH (CaCl₂); 13,89 mg dm⁻³ P (Mehlich 1); 28,86 g kg⁻¹ de matéria orgânica; 0,0 cmolc dm⁻³ Al; 4,96 cmolc dm⁻³ H+Al; 0,59 cmolc dm⁻³ K; 4,16 cmolc dm⁻³ Ca; 2,05 cmolc dm⁻³ Mg; 6,80 cmolc dm⁻³ de soma de bases; 11,76 cmolc dm⁻³ de capacidade de troca de cátions; e 57 % de saturação de bases.

4.2.2 Delineamento Experimental, Tratamentos e Condução do Experimento

O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas. Na segunda safra, as parcelas foram constituídas por três sistemas de cultivo do milho (cv. AG 9010 PRO), milho solteiro, consorciado com braquiária (*Urochloa ruziziensis*) ou com crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e as subparcelas, pelas doses de N aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹), na forma de nitrato de amônio (33% de N). No verão, em sucessão aos sistemas de cultivo do milho, foi cultivada a soja (cv. BRS 1003 IPRO) sobre a palhada dos cultivos realizados na segunda safra.

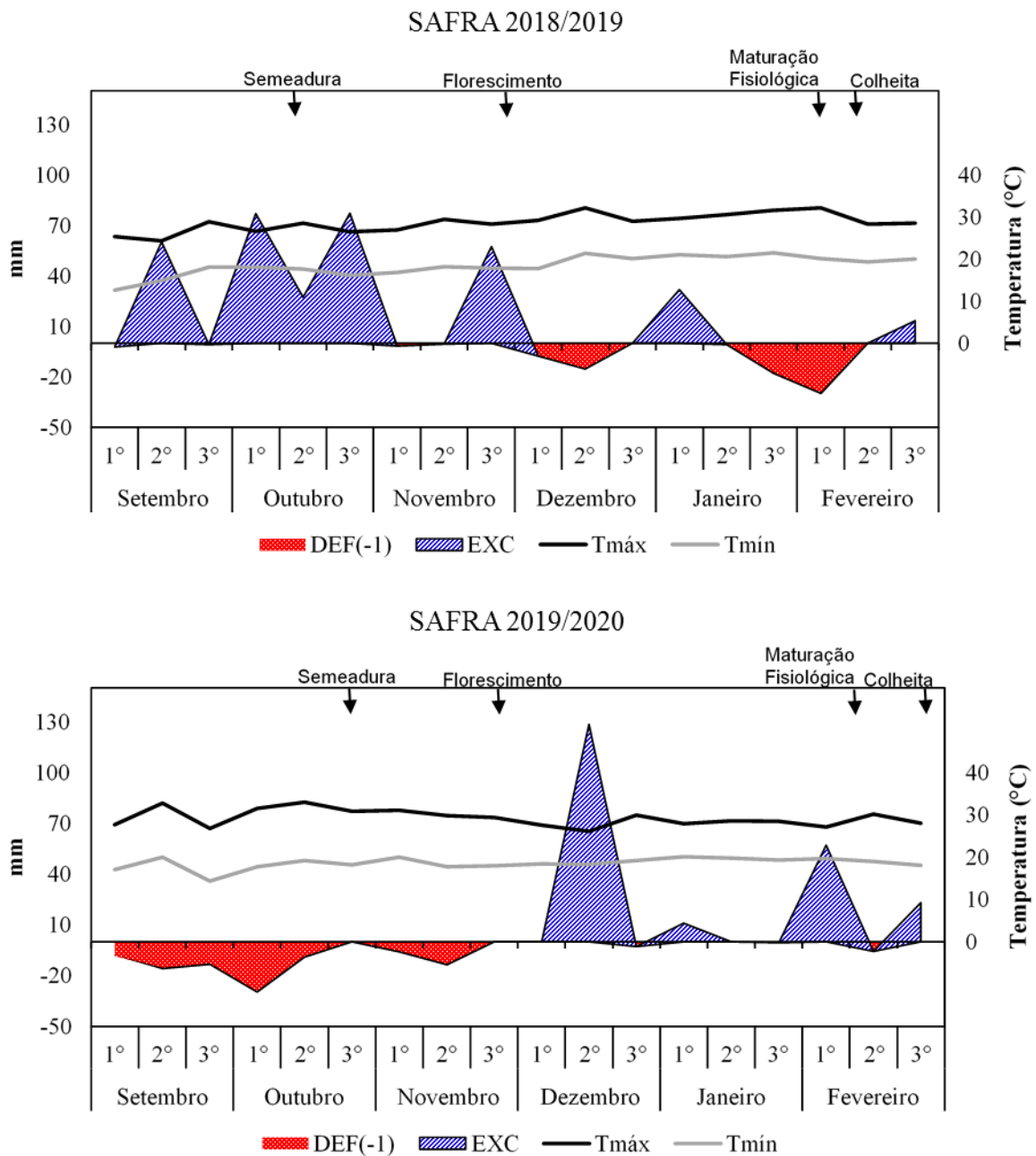


Figura 1 – Extrato do balanço hídrico climatológico sequencial (mm), temperaturas máximas (Tmáx) e mínimas (Tmín), por decêndio, no período de 01/09 a 29/02, conforme metodologia descrita por Thornthwaite e Mather (1955), com CAD de 75 mm, segundo estação meteorológica da Embrapa Soja Londrina - PR. Precipitação total: precipitação pluvial que ocorreu da sementeira a colheita da soja: 556 e 712 mm, respectivamente. **Fonte:** o próprio autor.

4.2.3 Milho Solteiro e Consorciado na Segunda Safra

Na segunda safra, a subparcela foi composta por seis linhas de milho com oito metros, espaçadas de 0,85 m para o milho solteiro ou consorciado. A sementeira do milho foi realizada mecanicamente com sementeira adubadora na segunda quinzena de março em 2018 e

na primeira em 2019, sobre resteva de cultura de soja, com semeadora-adubadora com mecanismos sulcadores do tipo guilhotina para posicionamento do adubo e discos duplos defasados para a semente, regulada para densidade de 65 mil plantas ha⁻¹.

Na safra 2018, utilizou-se na adubação de base 310 kg ha⁻¹ da formulação NPK 08-28-16 e, na safra 2019, 420 kg ha⁻¹ da 08-20-20. Nos consórcios, a braquiária e a crotalária foram semeadas mecanicamente na ocasião da semeadura do milho, com caixa adicional para sementes pequenas e distribuição por meio de rotor acanalado helicoidal, em sulco único centralizado nas entrelinhas do milho, utilizando 10 e 25 kg ha⁻¹ de sementes puras e viáveis, respectivamente.

A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada manualmente a lanço e parcelada em duas vezes (50% + 50%) a partir da dose de 120 kg ha⁻¹, quando as plantas estavam em V4 e V8. Na safra 2018, devido à falta de chuvas em V8, a segunda parte da dose foi aplicada em V11. Em ambas safras, na segunda parcela da adubação nitrogenada todos os tratamentos receberam 60 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (60% K₂O).

As plantas daninhas foram controladas durante o ciclo do milho por meio de capina manual. O controle de pragas e doenças foi feito conforme a necessidade e recomendações para a cultura.

Após a colheita do milho, a braquiária e crotalária ficaram no campo para formação de palhada, até serem dessecadas 25 dias antes da semeadura da soja utilizando-se herbicida glifosato (2,4 kg i.a. ha⁻¹).

4.2.4 Soja em Sucessão aos Cultivos de Segunda Safra

A cultivar de soja utilizada (BRS 1003 IPRO) apresenta crescimento indeterminado e grupo de maturidade relativa 6.3. Antes da semeadura, as sementes de soja foram tratadas com Tiametoxan (0,7 g i.a. kg de semente⁻¹) e inoculante líquido contendo bactérias *Bradyrhizobium elkanii*, SEMIA 587 e SEMIA 5019, na concentração 5 x 10⁹ UFC ml⁻¹ (5 ml kg de semente⁻¹). Na segunda quinzena de outubro, a semeadura foi realizada utilizando semeadora-adubadora com mecanismos sulcadores do tipo guilhotina para posicionamento do adubo e discos duplos defasados para a semente, regulada para distribuir 16 sementes por metro linear a 3 cm de profundidade, sobre a palhada dessecada, na área onde havia os sistemas de cultivo. A adubação na semeadura foi de 350 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado (NPK 00-20-20). Um dia após a semeadura aplicou-se o herbicida Paraquate (400 g i.a. ha⁻¹) para controle das plantas daninhas.

As parcelas foram constituídas de dez linhas de soja espaçadas 0,45 m com oito metros de comprimento, sendo a área útil as oito linhas centrais desprezando-se 0,5 m de cada extremidade.

No estágio V3, realizou-se aplicação foliar de cobalto e molibdênio (2 g ha⁻¹ de Co e 12 g ha⁻¹ de Mo). O controle de pragas, doenças e plantas daninhas foi efetuado conforme necessidade e seguindo as indicações técnicas para a cultura.

4.2.5 Características Avaliadas

Foi realizada a quantificação da massa seca da palhada acumulada nas subparcelas, correspondente aos diferentes sistemas de cultivo sob as doses de nitrogênio. Quando o milho atingiu maturidade de colheita (22% de umidade), foram coletadas três plantas (corte ao nível do solo) ao acaso para quantificação da massa de milho seco, formada pela massa do colmo, folhas, espiga sem grãos (palha e sabugo) e pendão secos. No caso da braquiária e da crotalária, antes da dessecação das plantas para semeadura da soja foi realizada a coleta de um metro linear por parcela (0,85 m²) dessas plantas por meio de corte rente ao solo. As amostras do cereal e das plantas de cobertura foram levadas para secagem em estufa com ventilação forçada a 60° C por 72 h e aferição das massas em balança de precisão. A massa seca total foi obtida pela soma da massa seca do milho somada a massa seca produzida pelas culturas de cobertura.

No estágio V2, determinou-se a densidade de plantas inicial por meio da contagem das plantas em dois metros lineares tomados ao acaso de três linhas de soja da área útil da parcela e extrapolou-se o valor para obtenção de plantas por hectare.

Em relação às características, avaliou-se: a) índice SPAD: obtido da média das leituras realizada com clorofilômetro *Konica Minolta® Spad 502*, no folíolo central da primeira folha completamente desenvolvida a partir do ápice, em dez plantas de soja tomadas ao acaso nos estádios V4, R2 e R5.1. As avaliações foram realizadas entre 8:30 e 10:00 horas; b) índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI): dado pela relação: $NDVI = (IVP - V) / (IVP + V)$, onde V refere-se à reflectância na região do vermelho (680 nm) e IVP refere-se à reflectância no infravermelho próximo (770 nm), a partir do equipamento *Green Seeker® 505 Handheld Sensor* e posicionado sobre a linha central de cada parcela para realização das leituras em R2 e R5.1; c) índice de área foliar (IAF): determinado com analisador de dossel de plantas, *LI-COR® LAI-2200* nos estádios V4, R2 e R5.1, por meio de uma leitura A (acima do dossel das plantas da linha central no meio da parcela) e três leituras B (na entrelinha e rente à

superfície do solo), em dias com céu livre de nuvens intermitentes ou pleno sol, evitando subestimar ou superestimar os valores; d) massa seca da soja: coleta da parte aérea das plantas em um metro linear de uma das linhas da parcela nos estádios V4, R2 e R5.1, com posterior acondicionamento em saco de papel para secagem em estufa a 60° C por 72 h e posterior pesagem e extrapolação dos valores para quilos por hectare.

Antes da colheita, em um metro linear representativo de cada subparcela, foram cortadas as plantas rente à superfície do solo e avaliou-se: a) altura de inserção da primeira vagem: medida do colo da planta até a altura de inserção da primeira vagem; b) altura da planta: medida do colo da planta até o ápice da haste principal; c) número de vagens por metro quadrado: contagem manual das vagens e extrapolação para metro quadrado; d) número de grãos por vagem: número de grãos por planta dividido pelo número de vagens; e) massa de mil grãos: média da massa de oito repetições de cem grãos, obtida em balança de precisão e extrapolação para mil grãos; e f) índice de colheita aparente: determinado pela relação entre massa de grãos secos e massa da parte aérea seca.

Para determinação da produtividade de grãos foi realizada a colheita de três linhas da área útil com colhedora de parcelas quando as plantas atingiram estádio R8. Os grãos foram pesados e a produtividade extrapolada para quilos por hectare, com teor de água médio de 130 g kg⁻¹ de grãos.

4.2.6 Análise Estatística

Os dados foram submetidos às análises de normalidade e homocedasticidade, com a utilização dos testes de Shapiro-Wilk e Hartley, respectivamente, indicando o cumprimento dos pressupostos estatísticos. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância. Considerou-se $p \leq 0,25$ para efeito de interação, e usual $p \leq 0,05$ para efeito isolado dos fatores, conforme recomendado por Perecin e Cargnelutti Filho (2008). Os desdobramentos das interações foram apresentados quando significativos e aplicável a explicação do comportamento biológico da variável. No fator qualitativo (sistemas de cultivo) médias das variáveis foram comparadas pelo teste de Tukey e no quantitativo (doses de nitrogênio) foram submetidas à análise de regressão ($p \leq 0,05$), utilizando o programa de análise estatística Sisvar (FERREIRA, 2011).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o ciclo da soja, a temperatura média foi 23°C nas duas safras. A precipitação pluviométrica foi 556 mm na safra 2018/2019 e 712 mm na safra 2019/2020. Valores, tanto de temperatura quanto de precipitação pluvial, que estão dentro do considerado adequado para obtenção de elevadas produtividades pela cultura, 20 a 30°C e 450 a 800 mm (SILVA et al., 2015; SOUZA et al., 2016). Entretanto, para altas produtividades é necessário que haja ainda apropriada distribuição da precipitação pluvial ao longo do ciclo da cultura, o que não ocorreu na safra 2018/2019, em que a pluviosidade foi menor após florescimento e na fase final de enchimento dos grãos (Figura 1).

Na safra 2018/2019 houve interação entre os sistemas de cultivo e as doses de nitrogênio sobre a massa seca do milho, massa seca total, massa seca da soja em R5.1 e número de vagens por metro quadrado. Contatou-se também efeito isolado de doses de nitrogênio sobre a massa seca da braquiária, massa seca da crotalária, NDVI em R2 e R5.1 e produtividade de grãos de soja (Tabela 1). Na safra 2019/2020, a interação entre as causas de variação ocorreu na massa seca do milho, NDVI em R5.1 e massa seca da soja em R5.1. Houve efeito isolado de sistemas de cultivo sobre o índice SPAD em R5.1 e de doses de nitrogênio sobre o índice SPAD em V4, índice SPAD em R2, massa seca da soja em R2 e produtividade de grãos (Tabela 1).

Em relação à quantificação da biomassa seca acumulada correspondente as plantas de milho em cultivo solteiro e consorciado com *Urochloa ruziziensis* ou *Crotalaria spectabilis*, observa-se que na safra 2019/2020, na ausência de nitrogênio em cobertura, a massa do milho seco cultivado em consórcio com braquiária foi menor que a do milho solteiro e do milho em consórcio com crotalária em 18% e 16%, respectivamente, contudo essa diferença deixa de existir já com a aplicação da menor dose de nitrogênio em cobertura, 60 kg ha⁻¹ (Figura 2B). Esse resultado sugere que a adubação nitrogenada de cobertura no milho reduziu a competição interespecífica no consórcio com a braquiária, indicando que há necessidade da complementação da adubação nitrogenada nesse tipo de sistema, uma vez que o nitrogênio utilizado na semeadura (34 kg ha⁻¹) e o proveniente da decomposição dos resíduos vegetais e do solo não foram suficientes para suprir a demanda de ambas as culturas, comprometendo o crescimento do milho.

Tabela 1 – Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro; milho + *Urochloa ruziziensis*; e milho + *Crotalaria spectabilis*) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre desempenho agrônomo da soja cultivada em sucessão, em Londrina, PR, safra 2018/2019.

Fontes de variação	GL	MSM (kg ha ⁻¹)	MSB (kg ha ⁻¹)	MSC (kg ha ⁻¹)	MST (kg ha ⁻¹)	DIS (plantas ha ⁻¹)		
----- Valor de <i>p</i> ¹ -----								
Bloco	3	0,87	0,75	0,10	0,87	0,43		
Cultivo (C)	2	0,83	-	-	0,00	0,13		
Dose (D)	4	0,55	0,05	0,00	0,03	0,80		
C x D	8	0,03	-	-	0,00	0,78		
CV 1 (%)		16,79	18,61	27,41	15,30	21,98		
CV 2 (%)		10,61	-	-	9,44	11,54		
Média		6.545	3.521	86	7.748	207.345		
Fontes de variação	GL	SPAD V4	SPAD R2	SPAD R5.1	NDVI R2	NDVI R5.1		
----- Valor de <i>p</i> ¹ -----								
Bloco	3	0,90	0,89	0,12	0,71	0,51		
Cultivo (C)	2	0,11	0,61	0,64	0,77	0,28		
Dose (D)	4	0,21	0,68	0,69	0,03	0,03		
C x D	8	0,11	0,89	0,89	0,66	0,48		
CV 1 (%)		3,64	8,79	4,74	26,51	2,78		
CV 2 (%)		3,24	3,66	3,58	11,09	1,51		
Média		36,83	34,07	42,47	0,57	0,87		
Fontes de variação	GL	IAF V4	IAF R2	IAF R5.1	MSS V4 (kg ha ⁻¹)	MSS R2 (kg ha ⁻¹)	MSS R5.1 (kg ha ⁻¹)	
----- Valor de <i>p</i> ¹ -----								
Bloco	3	0,88	0,97	0,98	0,43	0,93	0,85	
Cultivo (C)	2	0,28	0,79	0,94	0,11	0,57	0,30	
Dose (D)	4	0,33	0,37	0,34	0,38	0,05	0,00	
C x D	8	0,53	0,12	0,17	0,98	0,56	0,00	
CV 1 (%)		37,7	37,27	34,47	25,48	45,79	28,23	
CV 2 (%)		18,7	20,39	14,90	24,44	19,35	17,30	
Média		0,70	1,43	4,14	279	1.065	4.323	
Fontes de variação	GL	AV (cm)	AP (cm)	NV (vagens m ⁻²)	NGV (grãos vagem ⁻¹)	MMG (g)	ICA (%)	PROD (kg ha ⁻¹)
----- Valor de <i>p</i> ¹ -----								
Bloco	3	0,71	0,87	0,64	0,21	0,71	0,22	0,80
Cultivo (C)	2	0,60	0,62	0,33	0,89	0,32	0,17	0,90
Dose (D)	4	0,29	0,17	0,61	0,86	0,59	0,95	0,03
C x D	8	0,59	0,79	0,15	0,93	0,55	0,26	0,52
CV 1 (%)		28,60	22,90	19,92	1,86	11,65	4,61	29,51
CV 2 (%)		13,27	7,26	15,13	2,24	8,61	4,42	11,62
Média		12,6	55,3	1.429	2,51	106,03	0,53	3.302

¹ Em negrito, valores de $p \leq 0,05$; em negrito + itálico, interação com $p \leq 0,25$ (que foi desdobrada). Massa seca do milho (MSM), massa seca da braquiária (MSB), massa seca da crotalária (MSC), massa seca total (MST), densidade inicial de plantas de soja (DIS), índice SPAD em V4, R2 e R5.1 (SPAD V4, R2 e R5.1), índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI R2 e NDVI R5.1), índice de área foliar em V4, R2 e R5.1 (IAF V4, R2 e R5.1), massa seca da soja em V4, R2 e R5.1 (MSS V4, R2 e R5.1), altura de inserção da primeira vagem (AV), altura da planta (AP), número de vagens por metro quadrado (NV), número de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (MMG), índice de colheita aparente (ICA) e produtividade de grãos (PROD). **Fonte:** o próprio autor.

Tabela 2 – Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro; milho + *Urochloa ruziziensis*; e milho + *Crotalaria spectabilis*) e doses de nitrogênio aplicadas em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre desempenho agrônomo da soja cultivada em sucessão, em Londrina, PR, safra 2019/2020.

Fontes de variação	GL	MMS (kg ha ⁻¹)	MBS (kg ha ⁻¹)	MCS (kg ha ⁻¹)	MTS (kg ha ⁻¹)	DIS (plantas ha ⁻¹)	
----- Valor de p ¹ -----							
Bloco	3	0,15	0,17	0,06	0,17	0,18	
Cultivo (C)	2	0,11	-	-	0,00	0,07	
Dose (D)	4	0,06	0,77	0,06	0,08	0,83	
C x D	8	0,09	-	-	0,15	0,99	
CV 1 (%)		10,46	19,76	11,62	10,96	7,62	
CV 2 (%)		9,58	-	-	9,73	7,04	
Média		6.995	4.436	460	8.623	304.238	
Fontes de variação	GL	SPAD V4	SPAD R2	SPAD R5.1	NDVI R2	NDVI R5.1	IAF V4
----- Valor de p ¹ -----							
Bloco	3	0,75	0,91	0,94	0,71	0,63	0,96
Cultivo (C)	2	0,50	0,67	0,00	0,89	0,73	0,90
Dose (D)	4	0,00	0,03	0,25	0,54	0,71	0,36
C x D	8	0,70	0,37	0,78	0,24	0,02	0,59
CV 1 (%)		8,23	9,80	3,14	25,40	1,21	34,05
CV 2 (%)		3,58	3,28	2,15	10,27	0,60	25,07
Média		32,20	29,27	38,89	0,51	0,80	1,06
Fontes de variação	GL	IAF R2	IAF R5.1	MSS V4 (kg ha ⁻¹)	MSS R2 (kg ha ⁻¹)	MSS R5.1 (kg ha ⁻¹)	PROD (kg ha ⁻¹)
----- Valor de p ¹ -----							
Bloco	3	0,95	0,95	0,93	0,97	0,60	0,29
Cultivo (C)	2	0,50	0,86	0,22	0,63	0,66	0,13
Dose (D)	4	0,86	0,10	0,03	0,00	0,00	0,04
C x D	8	0,07	0,27	0,02	0,56	0,03	0,26
CV 1 (%)		16,24	26,80	29,97	28,88	11,98	8,91
CV 2 (%)		16,14	6,40	12,55	9,91	11,11	5,88
Média		2,82	7,93	644	1.272	6.731	5.014

¹ Em negrito, valores de $p \leq 0,05$; em negrito + itálico, interação com $p \leq 0,25$ (que foi desdobrada). Massa seca do milho (MSM), massa seca da braquiária (MSB), massa seca da crotalaria (MSC), massa seca total (MST), densidade inicial de plantas de soja (DIS), índice SPAD em V4, R2 e R5.1 (SPAD V4, R2 e R5.1), índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI R2 e NDVI R5.1), índice de área foliar em V4, R2 e R5.1 (IAF V4, R2 e R5.1), massa seca da soja em V4, R2 e R5.1 (MSS V4, R2 e R5.1) e produtividade de grãos (PROD). **Fonte:** o próprio autor.

Os resultados obtidos corroboram Almeida et al. (2017), que testaram na safra o uso de nitrogênio na semeadura (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) no milho solteiro ou consorciado com *U. ruziziensis*. O milho consorciado com *U. ruziziensis*, sem adubação nitrogenada ou com 50 kg ha⁻¹, produziu 17% e 9,7%, respectivamente, menos biomassa seca do que o milho solteiro. Somente acima de 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio foi que a produção de matéria seca entre os sistemas de cultivo não diferiu estatisticamente. Esses resultados demonstram a importância da adubação nitrogenada no cultivo do milho consorciado com forrageiras na segunda safra.

O fornecimento adequado de nitrogênio aumenta sua disponibilidade no solo, evita a competição entre as plantas consorciadas pelo nutriente e acelera o crescimento e estabelecimento inicial do milho, causando o sombreamento mais rápido da braquiária, técnica essencial para o sucesso dos sistemas consorciados (BORGHI et al., 2012; RIBEIRO et al., 2018; BATISTA et al. 2019b). Além disso, o nitrogênio proporciona maior acúmulo de biomassa pelas culturas em consórcio em relação ao milho solteiro, sem comprometer a produtividade do milho e favorecendo a manutenção do SPD (ALMEIDA et al., 2018).

Na safra 2018/2019, o incremento de nitrogênio resultou em resposta quadrática da massa do milho seco no consórcio com crotalária, com ponto de mínima em 94,89 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura e produção de 6.125 kg ha⁻¹ de biomassa seca (Figura 2A). Na safra 2019/2020, a resposta ao incremento do nitrogênio na massa do milho seco foi linear no consórcio milho-braquiária (Figura 2B). Lange et al. (2014), apesar da baixa dose máxima utilizada, também verificaram resposta linear da massa do milho seco às doses de nitrogênio em cobertura (0, 25, 50 e 75 kg ha⁻¹ de N) no milho em consórcio com *U. brizantha* sob semeadura simultânea na segunda safra, demonstrando a relevância do uso do nitrogênio em cobertura para o acúmulo de biomassa do cereal consorciado.

A adubação nitrogenada influenciou no acúmulo de massa pelas culturas de cobertura após a colheita do milho na safra 2018/2019 (Figura 2C e 2D). Esse aporte de palha proveniente das culturas de cobertura na segunda safra é uma alternativa para elevar a quantidade de palhada e a porcentagem de cobertura do solo no SPD (MENDONÇA et al., 2015).

O nitrogênio em cobertura teve efeito isolado sobre a massa da crotalária seca e a massa da braquiária seca obtidas em pré-dessecação para semeadura da soja na safra 2018/2019 (Figura 2C e 2D). A resposta quadrática da crotalária ao nitrogênio indica acúmulo de massa até o ponto de máxima, 126,49 kg ha⁻¹ de N, momento a partir do qual ocorreu redução da biomassa seca com o incremento das doses de nitrogênio, provavelmente pela interferência da adubação nitrogenada no processo de simbiose, alterando a eficiência do processo de fixação biológica de nitrogênio e o crescimento da leguminosa, a exemplo do que ocorre na soja (ZUFFO et al., 2019). A resposta quadrática positiva da crotalária ao nitrogênio (Figura 2C) pode explicar o ajuste quadrático negativo obtido sobre a massa do milho seco no consórcio milho-crotalária (Figura 2A), sugerindo que houve competição da leguminosa com o cereal, mas sem causar diferença entre os sistemas de cultivo.

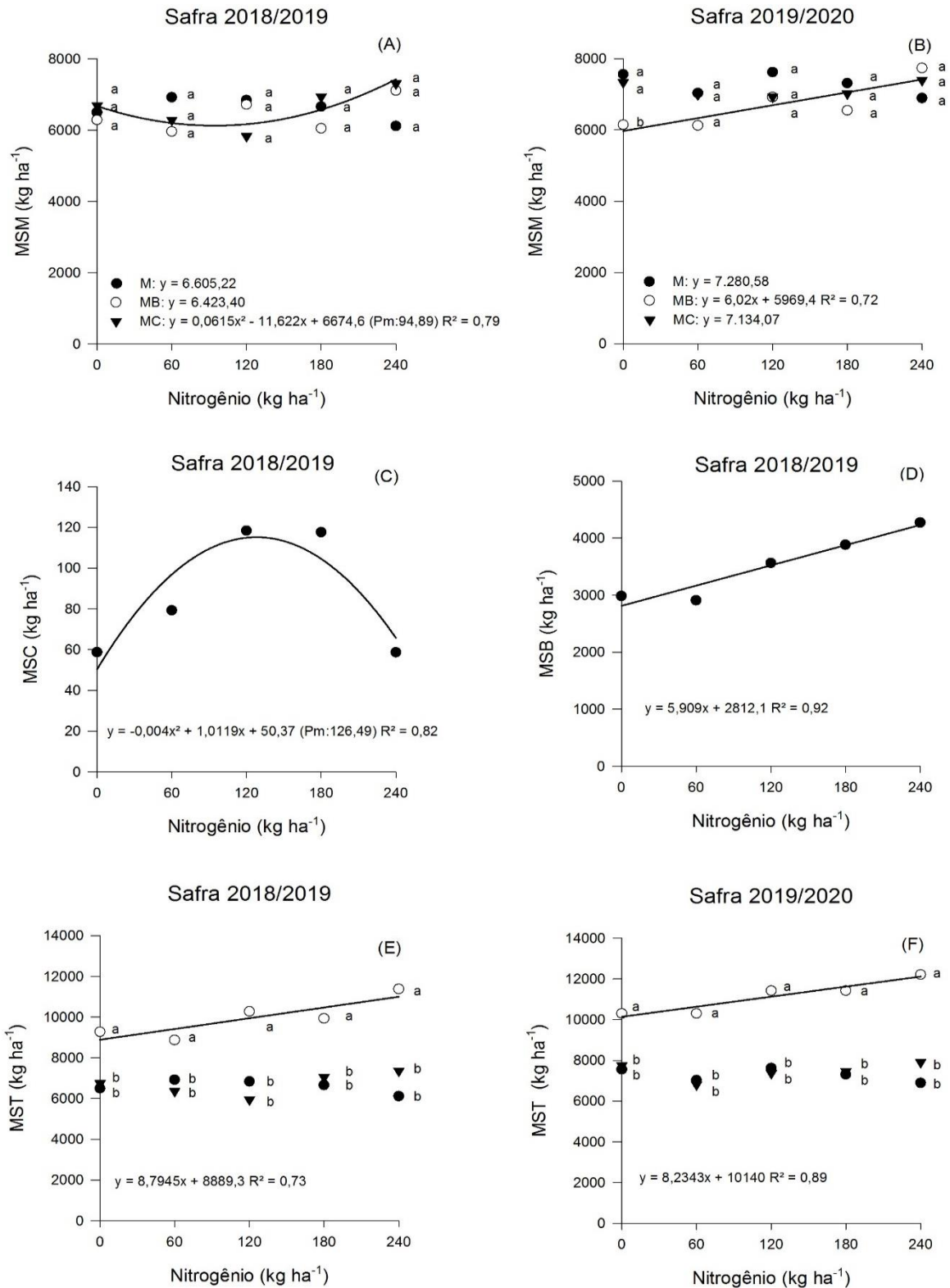


Figura 2 - Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e/ou doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre a massa seca do milho (MSM) (A e B), da crotalária (MSC) (C), da braquiária (MSB) (D) e massa total (MST) (E e F), em Londrina-PR, segunda safra 2018 e 2019. As médias seguidas pela mesma letra, em cada dose de nitrogênio, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Pm: pontos de mínima ou máxima. **Fonte:** o próprio autor.

Para braquiária, a resposta ao incremento do nitrogênio foi linear (Figura 2D). Quando não se usou nitrogênio em cobertura no milho segunda safra, a produção de massa da braquiária seca foi 2.984 kg ha^{-1} , com taxa de incremento de $59,09 \text{ kg ha}^{-1}$ a cada 10 kg ha^{-1} de N aplicado. Essa diferença representou um acréscimo de 43% na produção de massa da braquiária, em função da maior oferta de nitrogênio no sistema (COSTA et al., 2014; PEREIRA et al. 2016).

O desdobramento da interação da massa total produzida pelos sistemas de cultivo demonstrou que o incremento na adubação nitrogenada aplicada no milho em consórcio com braquiária aumentou linearmente a produção de biomassa nas duas safras, enquanto que o efeito do N na produção de palhada dos demais sistemas não foi significativo (Figura 2E e 2F). Além disso, em todas as doses de nitrogênio, o consórcio milho-braquiária produziu maior quantidade de biomassa que os demais sistemas de cultivo.

A permanência das culturas de cobertura no campo após a colheita do milho, bem como a maior produção de palha e a sua permanência sobre o solo no sistema milho em consórcio com *U. ruziziensis*, impedem que o solo fique exposto. Assim, o solo fica protegido da radiação solar direta, de grandes amplitudes térmicas, do impacto das gotas de chuva, das perdas por lixiviação e erosão e da perda de umidade (LEITE et al., 2010; CARVALHO et al., 2013). Ambiente que propicia o incremento da matéria orgânica, da atividade da biota do solo e da ciclagem de nutrientes, contribuindo para manutenção e melhoria da qualidade do solo (MEDONÇA et al., 2015; BURIN et al., 2017; CAVALLI et al., 2018), condições benéficas ao sistema de produção e à soja cultivada em sucessão (FRANCHINI et al., 2015; BALBINOT JUNIOR et al., 2017).

Na safra 2019/2020, em função do incremento nas doses de nitrogênio em cobertura nos cultivos de segunda safra, observou-se aumento linear do índice SPAD da soja em V4 e em R2 (Figura 3A e 3B). A menor taxa de crescimento da equação de R2 em relação à V4 indica redução do efeito do nitrogênio à medida que ocorre o desenvolvimento da soja. A concentração de nitrogênio nos tecidos vegetais, do teor de clorofila e das leituras fornecidas por medidores indiretos do teor de clorofila estão correlacionadas, de modo que se pode inferir que a leitura do índice SPAD traduz-se em um indicativo do crescimento vegetativo e da produtividade da cultura da soja (NOGUEIRA et al., 2010).

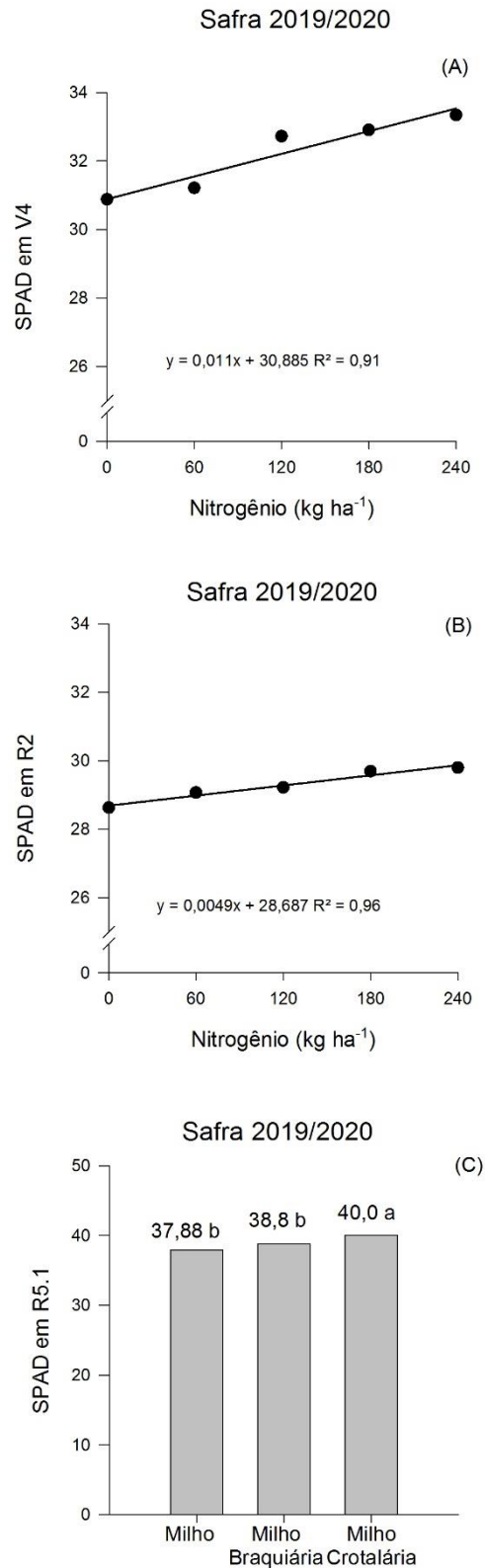


Figura 3 - Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro; milho + *Urochloa ruziziensis*; e milho + *Crotalaria spectabilis*) ou doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre o índice SPAD em V4 (A), R2 (B) e R5.1 (C) da soja, em Londrina-PR, safra 2019/2020. As médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. **Fonte:** o próprio autor.

Yokoyama et al. (2018), estudando o efeito de cultivos de segunda safra, braquiária (*Urochloa ruziziensis*), crotalária (*Crotalaria spectabilis*), milho segunda safra (*Zea mays*) com 0 e 80 kg de N ha⁻¹ em cobertura, trigo (*Triticum aestivum*) e pousio, sobre a soja cultivada em sucessão, verificaram diferenças no índice SPAD da soja desde a fase vegetativa até R1, momento a partir do qual não houve mais diferença do SPAD entre os tratamentos. De acordo com esses autores as culturas de entressafra influenciaram o índice SPAD da soja nas fases de crescimento vegetativo até o florescimento, mas não impactaram essa variável no enchimento de grãos, demonstrando que na fase reprodutiva os efeitos do cultivo de culturas de entressafra sobre o crescimento da soja diminuem.

O índice SPAD em R5.1 da soja cultivada após o milho em consórcio com crotalária foi maior do que após o milho solteiro ou em consórcio com braquiária na safra 2019/2020 (Figura 3C). Resultado que provavelmente ocorre por causa da capacidade de fixação de nitrogênio atmosférico pela simbiose leguminosa-bactéria e/ou aporte de biomassa mais rica em nitrogênio que as dos demais sistemas (ANANTHI et al., 2017). A maior quantidade de nitrogênio no solo contribui para maior disponibilidade desse nutriente para utilização pela cultura subsequente (TEODORO et al., 2011), nesse caso a soja, com consequente aumento na quantidade de clorofila na folha, maiores taxas fotossintéticas e maior acúmulo de biomassa.

O NDVI em R2 e em R5.1 se ajustou a equações lineares crescentes em resposta às doses de nitrogênio em cobertura na safra 2018/2019 (Figura 4A e 4B). O NDVI é um dos índices de vegetação mais amplamente utilizado para análise da vegetação, uma vez que pode fornecer informações que permitam inferências a respeito da quantidade de biomassa, desenvolvimento da vegetação e dos parâmetros de crescimento da soja (SILVA et al., 2017).

Na safra 2018/2019, houve aumento do NDVI da soja com o avanço dos estádios, 0,5 em R2 e 0,8 em R5.1 quando não se utilizou nitrogênio em cobertura no milho (Figura 4A e 4B). Na safra 2019/2020, embora a soja tenha apresentado baixa variação do NDVI, ocorreu resposta quadrática às doses de nitrogênio em cobertura aplicadas no milho solteiro, com ponto de máxima em 100 kg ha⁻¹ de N, correspondente a um índice de 0,80 (Figura 4C). As respostas ao incremento do nitrogênio podem ser explicadas pelo aumento proporcional do NDVI ao incremento da intensidade do verde e da cobertura vegetal à medida que a soja se desenvolve (FRANCHINI et al., 2015b), mostrando relação desse índice com o nitrogênio e o índice SPAD da soja.

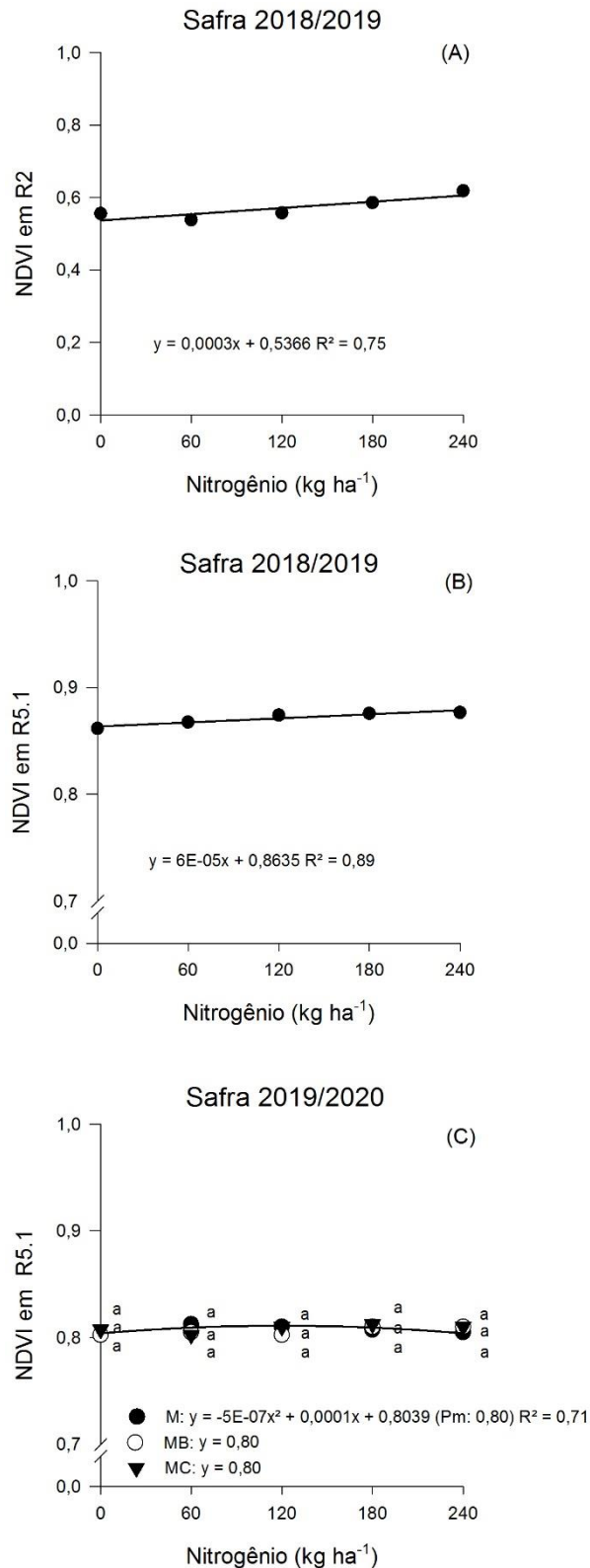


Figura 4 - Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e/ou doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre o índice de vegetação por diferença normalizada em R2 (A) e R5.1 (NDVI em R2 e R5.1) (B e C) da soja, em Londrina-PR, safras 2018/2019 e 2019/2020. As médias seguidas pela mesma letra, em cada dose de nitrogênio, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Pm: ponto de máxima. **Fonte:** o próprio autor.

Na safra 2019/2020, o incremento nas doses de nitrogênio aumentou linearmente a massa da soja seca em R2 (Figura 5A). A resposta também foi linear crescente no desdobramento de doses para todos os sistemas de cultivo em R5.1 na safra 2018/2019 (Figura 5B) e após o milho solteiro e o milho-braquiária na safra 2019/2020 (Figura 5C). A adubação nitrogenada no milho em consórcio com braquiária proporcionou maior aporte de biomassa para o sistema (Figura 2E e 2F) e favoreceu o acúmulo de massa da soja cultivada em sucessão, mas sem diferenças em relação ao milho solteiro em ambas as safras (Figura 5B e 5C).

Barbosa et al. (2011) ao avaliar o efeito do pousio e da palha de quatro culturas de cobertura (*Sorghum bicolor*, *Crotalaria juncea*, *Penisetum americanum* e *Urochloa brizantha*) cultivadas na segunda safra, verificaram que a soja cultivada em sucessão produziu maior quantidade de massa (6.879 kg ha^{-1}) quando foi cultivada após *Urochloa brizantha* em relação ao *P. americanum*. Segundo os autores, esse resultado ocorreu devido maior quantidade de biomassa produzida pela braquiária para o cultivo da soja em sucessão.

Uma maior quantidade de biomassa sobre o solo representa uma maior quantidade de nitrogênio e outros nutrientes a serem disponibilizados para soja. A braquiária, por possuir sistema radicular mais vigoroso, é capaz de absorver nitrogênio das camadas subsuperficiais e depois liberá-los nas camadas superficiais através da decomposição e mineralização de seus resíduos (PACHECO et al. 2011), pois uma vez que o nitrogênio foi fixado em compostos orgânicos fica sujeito ao processo de ciclagem (MATEUS et al., 2011).

O incremento das doses de nitrogênio aplicadas em cobertura no milho segunda safra em consórcio com braquiária aumentou linearmente o número de vagens da soja na safra 2018/2019, sem ajustes para os demais sistemas (Figura 6). Genovesi et al. (2019) estudando na soja, o efeito do cultivo do milho segunda safra, solteiro ou consorciado com plantas de cobertura (*Urochloa ruziziensis*, *Raphanus sativus*, *Crotalaria spectabilis* e *Avena strigosa*) semeadas simultaneamente na entrelinha do milho, observaram 60% maior número de vagens no cultivo em sucessão ao milho em consórcio com *U. ruziziensis* em comparação aos demais sistemas de cultivo. O maior aporte de palhada sobre o solo no consórcio milho-braquiária permitiu melhores condições de solo para o crescimento e desenvolvimento da soja, resultando em plantas mais altas, o que proporcionou maior número de vagens por planta em comparação aos outros sistemas de cultivo. No presente trabalho, o consórcio milho-braquiária produziu maior quantidade de palha que os demais sistemas, de maneira que a aplicação de nitrogênio incrementou essa produção de palha (Figura 2E e 2F) e proporcionou melhores condições para o aumento no número de vagens da soja cultivada em sucessão.

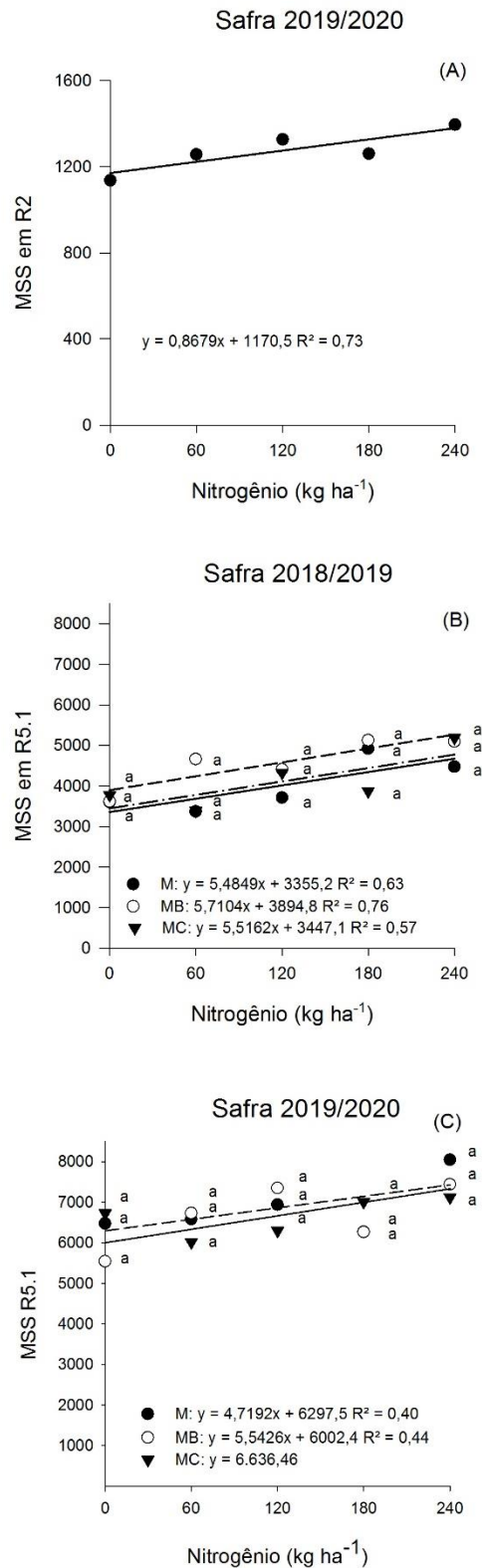


Figura 5 - Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro (M) – linha contínua; milho + *Urochloa ruziziensis* (MB) – linha tracejada; e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC) – ponto e linha tracejada) e/ou doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre a massa da soja seca em R2 (A) e R5.1 (MSS em R2 e R5.1) (B e C) da soja, em Londrina-PR, safras 2018/2019 e 2019/2020. As médias seguidas pela mesma letra,

em cada dose de nitrogênio, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. **Fonte:** o próprio autor.

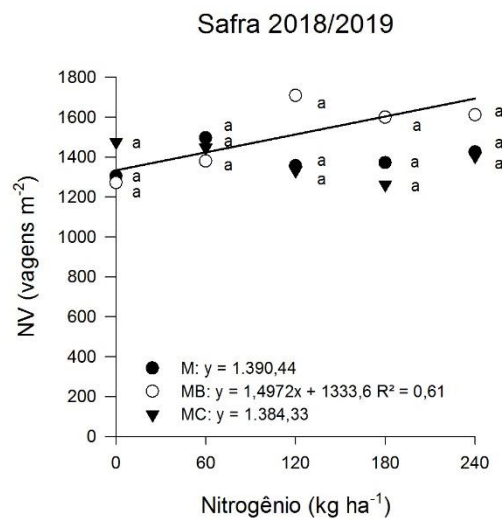


Figura 6 - Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre o número de vagens m⁻² (NV), em Londrina-PR, safra2018/2019. As médias seguidas pela mesma letra, em cada dose de nitrogênio, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. **Fonte:** o próprio autor.

Em ambas as safras o incremento das doses de nitrogênio em cobertura no cultivo de segunda safra causou aumento linear na produtividade da soja cultivada em sucessão (Figura 7A e 7B). Na safra 2018/2019, quando não se usou adubação nitrogenada no milho, a produtividade da soja foi 12% menor em relação a dose máxima de 240 kg ha⁻¹ de N, 3.158 e 3.598 kg ha⁻¹ de grãos, respectivamente. Enquanto que na safra 2019/2020 a diferença de produtividade entre a ausência de nitrogênio e a dose máxima foi de 7%, correspondendo a 4.857 e 5.212 kg ha⁻¹ de grãos, respectivamente.

As produtividades da safra 2018/2019 foram menores que a safra 2019/2020 (Figura 7A e 7B), provavelmente devido à menor quantidade e distribuição da precipitação pluviométrica na primeira safra de cultivo da soja em relação a segunda (Figura 1), afetando as fases de florescimento e de enchimento dos grãos, fases de maior necessidade de água. Efeito que pôde ser visto na altura das plantas e na massa de mil grãos na safra 2018/2019, que corresponderam a 55 cm e 106,03 g, respectivamente, valores que ficaram abaixo dos descritos pelo obtentor da cultivar (90 cm e 165 g).

De acordo com Gava et al. (2015) um estresse em alguma fase importante do crescimento e desenvolvimento da soja, como observado no presente trabalho, pode ocasionar redução de altura da planta, redução na massa acumulada, abortamento de flores e vagens e consequente redução da produtividade de grãos. Isso porque as cultivares de soja modernas

exigem relativamente maior quantidade de água durante todo o ciclo, principalmente no estágio reprodutivo, devido ao seu maior potencial genético de produtividade (FERRARI et al., 2015), além da necessidade de uma maior disponibilidade de nutrientes, principalmente do nitrogênio, para que esse potencial seja expresso.

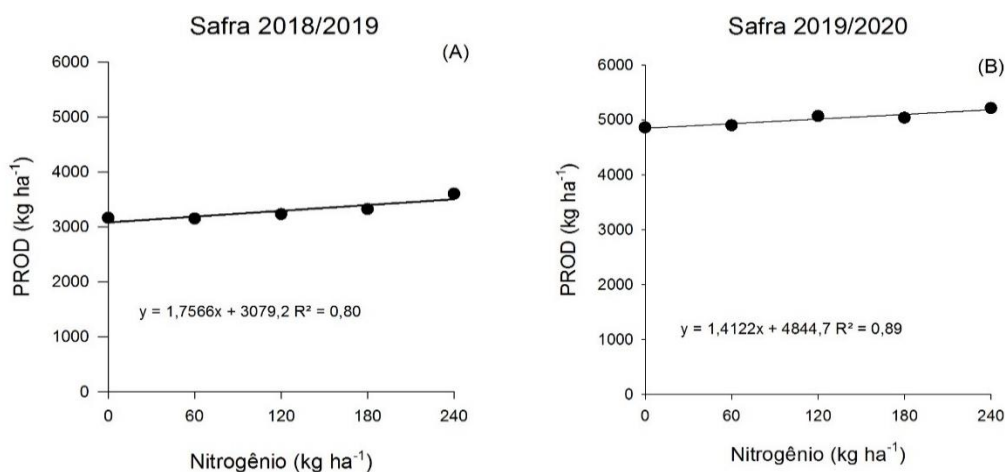


Figura 7 - Efeitos de sistemas de cultivo (milho solteiro (M); milho + *Urochloa ruziziensis* (MB); e milho + *Crotalaria spectabilis* (MC)) e doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹) no milho segunda safra sobre a produtividade de grãos (PROD) da soja (A e B), em Londrina-PR, safras 2018/2019 e 2019/2020. **Fonte:** o próprio autor.

O aumento na produtividade da soja ocorreu em função da adubação nitrogenada no milho cultivado na segunda safra, a qual incrementou a biomassa aportada pelas culturas de cobertura (Figura 2), com conseqüente aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo, seja proveniente da mineralização da biomassa aportada pelas culturas antecessoras e/ou do nitrogênio residual no solo. Segundo Genovesi et al. (2019) um dos motivos da palhada produzida pelas culturas na segunda safra aumentar a produtividade da soja cultivada em sucessão é o incremento no teor de matéria orgânica no solo com posterior liberação de nitrogênio e outros nutrientes.

Como a fixação biológica de nitrogênio (FBN) supre até 94% do N total requerido pela cultura da soja, correspondendo à 300 kg ha⁻¹ de N (HUNGRIA et al., 2006), pelo menos 6% devem ser supridos pelo solo, principalmente, pela matéria orgânica, já que a adubação nitrogenada na soja não aumenta o desempenho produtivo e ainda pode prejudicar a eficiência da FBN (HUNGRIA et al., 2006; YOKOYAMA et al., 2018; ZUFFO et al., 2019). Assim, uma alternativa para beneficiar o crescimento e desempenho produtivo da soja quanto à adubação nitrogenada é realizar a adubação da cultura antecessora visando promover o maior

aporte de palhada e N ao sistema, como no presente trabalho, pois a soja apresenta eficiência no aproveitamento do N proveniente da mineralização da matéria orgânica, principalmente quando participa de sistemas de produção com grande quantidade de palhada (CÂMARA, 2014).

Apesar de não ter havido diferença entre os sistemas de cultivo sobre a produtividade da soja nas duas safras (Figura 7), o maior aporte de palhada, principalmente no sistema milho em consórcio com *U. ruziziensis*, é importante para manutenção da estabilidade do SPD. Segundo Ceccon et al. (2013) o aumento na quantidade de palhada produzida na segunda safra proporciona maior porcentagem de solo coberto e maior preservação dos nutrientes no solo.

De acordo com Miguel et al. (2018), a *U. ruziziensis* solteira ou consorciada na segunda safra, promove aumento significativo na produção de biomassa, cobertura do solo e ciclagem de nutrientes, sendo que nitrogênio e potássio foram os nutrientes mais acumulados na parte aérea das plantas e liberados em maiores quantidades no solo, contribuindo para o efeito no desempenho agrônômico da soja em sucessão.

Adicionalmente, os benefícios das culturas de cobertura não ficam restritos ao aporte de biomassa da parte aérea ao sistema, há também o efeito da biomassa radicular, mais expressivo que o da parte aérea sobre a soja em sucessão (BALBINOT JUNIOR et al., 2017). Esse efeito pode estar relacionado à formação de poros biológicos e melhorias na estrutura do solo, permitindo maior crescimento de raízes de soja cultivada em sucessão, o que pode favorecer a obtenção de incrementos na produtividade da cultura (RIBEIRO et al., 2019).

É importante ressaltar que os benefícios da diversificação de culturas no sistema de produção soja/milho, com cultivo do milho em consórcio com plantas de cobertura, aumentam ao longo do tempo (MIGUEL et al., 2018). Ramos Junior et al. (2019) testando desempenho da soja em sucessão ao milho segunda safra solteiro e em consórcio com *C. spectabilis* em diferentes densidades (10, 20, 30 e 40 kg ha⁻¹ de sementes), como no presente trabalho, também verificaram que a produtividade da soja semeada em sucessão não foi influenciada pelo consórcio. Entretanto, os autores afirmam a necessidade da continuidade do trabalho por mais de um ciclo de sucessão, uma vez que estudos de maior duração podem possibilitar melhor caracterização dos benefícios da palhada. Fato corroborado por Dias et al. (2018), que no primeiro ano de cultivo, constataram que a produtividade da soja cultivada sobre diferentes palhadas também não diferiu.

Em experimento mais longo, Krenchinski et al. (2018) estudaram o efeito de espécies de cobertura de inverno no desempenho agrônômico de soja cultivada em sucessão,

sob plantio direto durante três safras. Observaram que a produtividade da soja aumenta quando cultivada em sucessão às culturas de cobertura de inverno, principalmente após o segundo ano de adoção do sistema. Resultado também encontrado por Pacheco et al. (2017), que observaram efeito na produtividade da soja apenas no segundo ano devido ao efeito cumulativo do aporte de biomassa do cultivo de segunda safra no sistema de produção. Esses resultados indicam que cultivos consorciados em ciclos sucessivos podem ocasionar maior acúmulo de matéria orgânica e de nutrientes no solo, o que é obtido com o decorrer do tempo, resultando em melhores condições para as culturas em sucessão (COSTA et al., 2015).

Assim, apesar do resultado positivo sobre massa seca e número de vagens da soja, não houve efeito dos sistemas de cultivo sobre o desempenho produtivo, contrariando o que foi obtido por outros trabalhos. É possível que a ausência de diferença esteja relacionada ao curto prazo de cultivo do sistema e às condições edáficas e meteorológicas de cada local. Além disso, nos dois anos do estudo houve déficit hídrico durante a segunda safra comprometendo o crescimento e desenvolvimento do milho e das culturas de cobertura e reduzindo os possíveis efeitos sobre a soja cultivada em sucessão.

4.4 CONCLUSÕES

Em Latossolo Vermelho distroférico, com elevados teores nutricionais e matéria orgânica sob condições de restrição hídrica, o incremento do nitrogênio em cobertura no milho segunda safra, independentemente do sistema de cultivo, aumenta o crescimento e desempenho produtivo da soja em SPD.

O milho segunda safra consorciado com braquiária proporciona maior quantidade de palhada no SPD que o milho solteiro ou consorciado com crotalária, sem reflexos no crescimento e desempenho produtivo da soja cultivada em sucessão.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. W. D.; SANTOS, J. R.; MOURA FILHO, G.; REIS, L. S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 721-726, 2013.
- ALMEIDA, R. E. M. D.; FAVARIN, J. L.; OTTO, R.; FRANCO, H.; REIS, A. F. B.; MOREIRA, L. A.; TRIVELIN, P. Nitrogen recovery efficiency for corn intercropped with palisade grass. **Bragantia**, Campinas, v. 77, n. 4, p. 557-566, 2018.
- ALMEIDA, R. E. M.; FAVARIN, J. L.; OTTO, R.; PIEROZAN, C.; OLIVEIRA, S. M.; TEZOTTO, T.; LAGO, B. C. Effects of nitrogen fertilization on yield components in a corn-palisadegrass intercropping system. **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v. 11, n. 3, p. 352, 2017.
- ANANTHI, T.; UGC, P. D. F. A review on maize-legume intercropping for enhancing the productivity and soil fertility for sustainable agriculture in India. **Advances in Environmental Biology**, Washington, v. 11, n. 5, p. 49-63, 2017.
- ARF, O.; MEIRELLES, F. C.; PORTUGAL, J. R.; BUZETTI, S.; DE SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F. Benefícios do milho consorciado com gramínea e leguminosas e seus efeitos na produtividade em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 17, n. 3, p. 431-444, 2018.
- 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**, Brasília, v. 52, n. 8, p. 592-598, 2017.
- BARBOSA, C. E. M.; LAZARINI, E.; PICOLI, P. R. F.; FERRARI, S. Plantas de cobertura em região de inverno seco para semeadura direta de soja. **Revista Científica**, Jaboticabal, v. 39, n. 1/2, p. 52-64, 2011.
- BATISTA, K.; GIACOMINI, A. A.; GERDES, L.; DE MATTOS, W. T.; OTSUK, I. P. Nitrogen fertilisation improves the grain production efficiency and sustainability of out-of-season corn and Congo grass intercropping. **Soil Research**, Melbourne, v. 57, n. 4, p. 397-407, 2019b.
- BORGHI, É.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; MATEUS, G. P.; MARTINS, P. O.; COSTA, C. Effects of row spacing and intercrop on maize grain yield and forage production of palisade grass. **Crop and Pasture Science**, Melbourne, v. 63, n. 12, p. 1106-1113, 2012.
- BURIN, P. C. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de Urochloa brizantha cv. Piatã. **Revista Electrónica de Veterinaria**, Málaga, v. 18, n. 9, p. 1-22, 2017.

CÂMARA, G. M. S. Fixação biológica de nitrogênio em soja. **Informações agronômicas**, n. 147, p. 1-9, 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

CONCENÇO, G.; CECCON, G.; MARQUES, R. F.; MARSCHALL, I. R.; ALVES, M. D. S.; PALHARINI, W. G.; GALON, L. Cultivos de outono-inverno na supressão de plantas daninhas em soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 2, p. 205-210, 2015.

CÓRDOVA, S. C.; CASTELLANO, M. J.; DIETZEL, R.; LICHT, M. A.; TOGLIATTI, K.; MARTINEZ-FERIA, R.; ARCHONTOULIS, S. V. Soybean nitrogen fixation dynamics in Iowa, USA. **Field Crops Research**, v. 236, p. 165-176, 2019.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S.; DOS SANTOS, F. G.; PARIZ, C. M. Adubação nitrogenada em capins do gênero *Urochloa* implantados em consórcio com a cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 3, p. 376-383, 2014.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; CONTE, O. Diversificação de espécies vegetais como fundamento para a sustentabilidade da cultura da soja. **Documentos**, 366. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 60 p.

DIAS, D. S.; UMBURANAS, R. C.; DE SENA JUNIOR, D. G. Sowing date of palisadegrass intercropped with grain sorghum and soybean yield in succession. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 9, n. 2, p. 194-201, 2018.

FERRARI, E.; DA PAZ, A.; DA SILVA, A. C. Déficit hídrico e altas temperaturas no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas. **Revista Nativa**, Sinop, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

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

FRANCHINI, J. C.; JUNIOR, A. A. B.; 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**, Boa Vista, v. 9, n. 2, p. 129-135, 2015b.

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; JOSE, J. V.; JUNIOR, E. F. F.; PERBONI, A. O estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 9, n. 6, p. 349-359, 2015.

GENOVESI, G.; RASERA, G. P.; MORESKI, H. M.; FELIPE, D. F.; DA COSTA, A. R.; ANDREOLA, R.; MANNIGEL, A. R.; GONÇALVES-ZULIANI, A. M. O.; BIDO, G. S.; MANNIGEL, A. R. Parameters of Soybean Cultivated in Succession with Intercropping System of Out-of-Season Corn with Green Manure. **Journal of Agricultural Studies**, Las Vegas, v. 7, n. 4, p. 272-281, 2019.

GITTI, D. C., ARF, O.; VILELA, R. G.; PORTUGAL, J. R.; KANEKO, F. H.; RODRIGUES, R. A. F. Épocas de semeadura de crotalária em consórcio com milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n. 2, p. 156-158, 2012.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; CRISPINO, C. C.; MORAES, J. Z.; SIBALDELLI, R. N.; 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.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Atlas Climático do Paraná**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=2533>>. Acesso em: 10 de jan. 2020.

KAPPES, C.; DE CARVALHO, M. A. C.; YAMASHITA, O. M.; DA SILVA, J. A. N. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, p. 251-259, 2009.

KRENCHINSKI, F. H.; CESCO, V. J. S.; RODRIGUES, D. M.; ALBRECHT, L. P.; WOBETO, K. S.; ALBRECHT, A. J. P. Agronomic performance of soybean grown in succession to winter cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 53, n. 8, p. 909-917, 2018.

LANGE, A.; CAIONE, G.; SCHONINGER, E. L.; SILVA, R. G. Produtividade de milho safrinha em consórcio com capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 1, p. 35-47, 2014.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n. 1, p.133-146, 2009.

MACHADO, L.A.Z.; ASSIS, P.G.G. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, p.415-422, 2010.

MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, E.; PARIZ, C. M.; COSTA, C.; SILVEIRA, J. P. F. Nitrogen fertilization on sorghum intercropped with grass in a no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1161-1169, 2011.

MENDONÇA, V. Z. D.; MANO DE MELLO, L. M.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, É. H.; PEREIRA, B. L.; CEZAR, F. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p. 183-193, 2015.

MIGUEL, A. S. D. C. S.; PACHECO, L. P.; CARVALHO, Í. C. D.; SOUZA, E. D. D.; FEITOSA, P. B.; PETTER, F. A. Phytomass and nutrient release in soybean cultivation systems under no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 53, n. 10, p. 1119-1131, 2018.

NOGUEIRA, P. D. M.; JÚNIOR, D. G. S.; RAGAGNIN, V. A. Clorofila foliar e nodulação em soja adubada com nitrogênio em cobertura. **Global Science and Technology**, Goiânia, v. 3, n. 2, 2010.

PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. de A.; ASSIS, R. L. de; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 17-25, 2011.

PACHECO, L. P.; MIGUEL, A. S. D. C. S.; SILVA, R. G. D.; SOUZA, E. D. D.; PETTER, F. A.; KAPPES, C. Biomass yield in production systems of soybean sown in succession to annual crops and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, n. 8, p. 582-591, 2017.

PERECIN, D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Efeitos por comparações e por experimento em interações de experimentos fatoriais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, 68-72, 2008.

PEREIRA, F. C. B. L.; MELLO, L. M. M. D.; PARIZ, C. M.; MENDONÇA, V. Z. D.; YANO, É. H.; MIRANDA, E. E. V. D.; CRUSCIOL, C. A. C. Autumn maize intercropped with tropical forages: crop residues, nutrient cycling, subsequent soybean and soil quality. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 1-20, 2016.

RAASCH, H.; SCHONINGER, E. L.; NOETZOLD, R.; DA COSTA VAZ, D.; DA SILVA, J. D. Doses de nitrogênio em cobertura no milho de segunda safra em Nova Mutum–MT. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 4, n. 4, p. 517-529, 2016.

RAMOS JUNIOR, E. U.; DE RAMOS, E. M.; KONZEN, L. M.; FALEIRO, V. D. O.; DA SILVA, A. F.; TARDIN, F. D. Desempenho da soja em sucessão ao consórcio de milho segunda safra com diferentes densidades de *Crotalaria spectabilis*. **Revista Nativa**, Sinop, v. 7, n. 6, p. 649-655, 2019.

RIBEIRO, L. M.; FLAUZINO, D. S.; CECCON, G. Atributos físicos do solo e crescimento de raiz da soja após cultivos de outono-inverno. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v. 13, n. 1, p. 36-43, 2019.

RIBEIRO, L. M.; LEITE, E. M.; CECCON, G. Interferência de culturas anuais no crescimento inicial de *Brachiaria ruziziensis*. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 5, n. 3, p.70-75, 2018.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, D. A. D.; FERREIRA DE SOUZA, L. C.; TADEU VITORINO, A. C.; GONÇALVES, M. C. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, 2011.

SILVA, D. V. R.; SEBEM, E.; PEDRALI, L. D.; DOS SANTOS, M. A. G. Variabilidade espacial de NDVI E EVI no estágio vegetativo da soja. **Agropampa: Revista de Gestão do Agronegócio**, Dom Pedrito, v. 2, n. 2, 2017.

SILVA, A. F.; SEDIYAMA, T.; BOREM, A. Exigências edafoclimáticas. In: SILVA, A. F.; SEDIYAMA, T.; BOREM, A. **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. p. 54-65.

SOUZA, P.J.O.P.; ORTEGA-FARIAS, S.; ROCHA, E.J.P.; SOUSA, A.M.L.; SOUZA, E.B. Consumo hídrico da soja no nordeste Paraense. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 01, p. 218-218, 2016.

TEIXEIRA, C. M.; DE CARVALHO, G. J.; DE ANDRADE, M. J. B.; SILVA, C. A.; PEREIRA, J. M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, 2009.

TEODORO, R. B.; DE OLIVEIRA, F. L.; DA SILVA, D. M. N.; FÁVERO, C.; QUARESMA, M. A. L. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 635-643, 2011.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, Publications in Climatology, 1955. 104 p.

TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C.; LEITE, G.J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, p. 617-622, 2007.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; RODRIGUES JUNIOR, D. J.; LOSS, A. Production, decomposition of residues and yield of maize and soybeans grown on cover crops. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 451-459, 2015.

YOKOYAMA, A. H.; RIBEIRO, R. H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; ZUCARELI, C. Índices de área foliar e SPAD da soja em função de culturas de entressafra e nitrogênio e sua relação com a produtividade. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 4, p. 81-90, 2018.

ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; BUSCH, A.; DA SILVA SANTOS, D. M. Adubação nitrogenada na soja inibe a nodulação e não melhora o crescimento inicial das plantas. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 12, n. 2, p. 333-349, 2019.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram que a semeadura do milho segunda safra em consórcio com *U. ruziziensis* aumenta o aporte de biomassa para manutenção do SPD, devido a tolerância à estresses e alta eficiência de uso dos recursos edáficos e meteorológicos da braquiária, proporcionando elevada capacidade de produção de biomassa. Por isso, é necessário a utilização de maior quantidade de nitrogênio em cobertura no milho segunda safra quando consorciado com *U. ruziziensis* para suprir a demanda desse nutriente pelas culturas e evitar os efeitos da competição interespecífica. Necessidade que não é observada no consórcio milho-crotalária, pela baixa competição da leguminosa com o milho nas condições climáticas da segunda safra.

Por ser uma Poaceae perene com boa tolerância ao sombreamento a braquiária apresenta adequado crescimento em consórcio com o milho. Sem a restrição luminosa após a colheita do milho em ambas as safras, a braquiária continua crescendo, acumulando massa e protegendo o solo, além da palhada produzida apresentar alta persistência sobre o solo devido a elevada relação C/N. Diferente da crotalária, que por ser uma Fabaceae anual, mais adaptada as condições de verão, não apresentava mais folhas quando foi realizada a colheita do milho. De maneira que a menor quantidade de precipitação pluviométrica e as baixas temperaturas, características da segunda safra, comprometem seu crescimento e desenvolvimento em consórcio com o milho.

Como a braquiária compete com o milho segunda safra interferindo no seu desempenho agrônômico, é preciso atentar para época de semeadura do milho segunda safra consorciado para que as condições meteorológicas favoreçam o arranque inicial do cereal em relação a culturas de cobertura e para que os estádios de florescimento e enchimento dos grãos coincidam com as chuvas do outono, pois quanto mais tarde for a semeadura do milho, menor será o potencial produtivo e maior o risco de perdas por seca e/ou geada. Além de que os cultivos consorciados em conjunto com as condições climáticas da segunda safra aumentam o ciclo do cereal. Assim, o planejamento desse sistema de produção deve começar com o planejamento da semeadura da cultura da soja, visando liberar a área o mais cedo possível para a segunda safra.

Outro ponto que deve ser levado em consideração é a densidade de semeadura do milho e das culturas de cobertura, devendo obedecer às recomendações da empresa produtora das sementes a fim de não comprometer a produtividade de grãos pela competição interespecífica e o aporte de palhada ao sistema de produção. No experimento, como o objetivo

era a produção de palha para o sistema sem prejudicar o desempenho agrônômico do milho, poder-se-ia ter reduzido em cerca de 20% a quantidade de sementes de braquiária utilizada em consórcio com o milho proporcionando melhores condições para o crescimento e desenvolvimento das culturas, possivelmente, com maior aporte de palha e produtividade do milho.

As condições edáficas, meteorológicas e de manejo após a semeadura do milho nas duas safras permitiram adequado arranque inicial do cereal, de maneira que não foi necessário o uso de herbicidas para supressão da braquiária.

Como a adubação nitrogenada na soja não aumenta o desempenho produtivo e ainda pode prejudicar a eficiência da fixação biológica, o uso de nitrogênio em cobertura no milho segunda safra, independentemente do sistema de cultivo, aumenta o crescimento e desempenho produtivo da soja em SPD, sendo essa uma alternativa para o incremento da produtividade do sistema de produção. Entretanto, nas condições edáficas e meteorológicas das duas safras de estudo, não se verifica diferença de produtividade da soja cultivada em sucessão aos diferentes sistemas de cultivo avaliados. Apesar disso, o manejo adequado das culturas no sistema proporciona o melhor aproveitamento dos recursos ambientais e melhoria das características do solo ao longo dos anos, tornando o sistema mais sustentável e diversificado. Ainda, em uma abordagem de sistema de produção como um todo é preciso considerar outros efeitos que não foram avaliados pelo experimento, como os benefícios sobre a incidência de plantas daninhas ou problemas de erosão e degradação do solo.

Portanto, experimentos de maior duração que a desse estudo, avaliando a aplicação de nitrogênio no milho segunda safra em consórcio com culturas de cobertura sobre a palhada de soja, devem ser realizados com o objetivo de verificar a produtividade e rentabilidade do sistema soja/milho a longo prazo.