

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

EDUARDO DE PAULA SIMÃO

**DESEMPENHO PRODUTIVO E ECONÔMICO DE SISTEMAS INTENSIFICADOS
DE CULTIVO DE SOJA E MILHO NA REGIÃO CENTRAL DE MINAS GERAIS**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2020**

EDUARDO DE PAULA SIMÃO

**DESEMPENHO PRODUTIVO E ECONÔMICO DE SISTEMAS INTENSIFICADOS
DE CULTIVO DE SOJA E MILHO NA REGIÃO CENTRAL DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: João Carlos Cardoso Galvão

Coorientador: Álvaro Vilela de Resende

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2020**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S588d
2020

Simão, Eduardo de Paula, 1984-
Desempenho produtivo e econômico de sistemas
intensificados de cultivo de soja e milho na região central de
Minas Gerais / Eduardo de Paula Simão. – Viçosa, MG, 2020.
71 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: João Carlos Cardoso Galvão.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Cultivo consorciado - Aspectos econômicos. 2. Milho -
Cultivo. 3. Soja - Cultivo. 4. Cerrados. 5. Cultivos agrícolas -
Fatores climáticos. 6. *Zea mays*. 7. *Glycine max*. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 338.162

EDUARDO DE PAULA SIMÃO

**DESEMPENHO PRODUTIVO E ECONÔMICO DE SISTEMAS INTENSIFICADOS
DE CULTIVO DE SOJA E MILHO NA REGIÃO CENTRAL DE MINAS GERAIS**

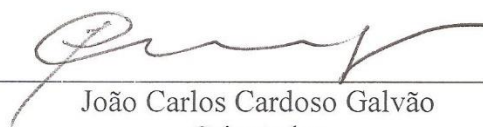
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 06 de março de 2020.

Assentimento:



Eduardo de Paula Simão
Autor



João Carlos Cardoso Galvão
Orientador

*A Deus, meus familiares e
aos meus amigos...
companheiros de todas as horas...*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por minha vida, família e amigos.

Aos meus pais e irmãos, pelo amor e apoio incondicional.

À minha esposa, Carolina, pela paciência e compreensão.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de fazer o curso.

À Embrapa Milho e Sorgo, por viabilizar a realização deste estudo.

Ao professor Dr. João Carlos Cardoso Galvão, pela orientação, apoio e confiança.

Ao Dr. Álvaro Vilela de Resende, pela coorientação e experiências profissionais.

Aos membros da banca examinadora, Dra. Steliane Coelho, Dr. Emerson Borghi, Dr. Décio Karam, Dr. Miguel Gontijo e Dr. Rodrigo Lima, pelas contribuições na melhoria do trabalho.

Ao Dr. Miguel Gontijo pelo incentivo, apoio e amizade.

Ao Dr. Antônio Carlos de Oliveira, pelo suporte no tratamento estatístico dos dados.

Ao Dr. José Carlos Cruz (*In memoriam*) e Dr. Israel Alexandre Pereira Filho, pelos incentivos e ensinamentos.

Ao colega Jeferson Giehl pela amizade e colaboração na execução da tese.

Aos colegas da Embrapa Milho e Sorgo, pelo apoio na execução dos trabalhos e amizade.

Aos colegas da UFV, pelo companheirismo e incentivos.

A todos os funcionários e professores da UFV que auxiliaram e contribuíram com minha formação.

À Fundação Agrisus (Processo: 1491/15), ao CNPq (Processo: 422538/2016-7) e à Embrapa (Processo: 23.14.10.003.00.00), pelo suporte financeiro para execução do experimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de financiamento 001.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

SIMÃO, Eduardo de Paula, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2020. **Desempenho produtivo e econômico de sistemas intensificados de cultivo de soja e milho na Região Central de Minas Gerais.** Orientador: João Carlos Cardoso Galvão. Coorientador: Álvaro Vilela de Resende.

A produção de grãos na Região Central de Minas Gerais tem sido insuficiente para atender a demanda regional, aumentando a dependência de aquisição em outras partes do país. Veranicos com maior intensidade têm reduzido a disponibilidade hídrica aos cultivos realizados em sequeiro, agravando cada vez mais as condições de produção agrícola. Sendo assim, há necessidade de se adaptar e difundir técnicas agrônomicas capazes de minimizar os efeitos negativos dos períodos de restrição hídrica e que proporcionem maior estabilidade produtiva, de acordo com as condições socioeconômicas dos agricultores. Vislumbra-se a possibilidade de incremento na produção de grãos, com a utilização de cultivos alternados e consórcios de espécies, que podem se tornar modelos plausíveis para a região. Neste intuito, no presente trabalho, buscou-se avaliar o desempenho de sistemas intensificados de produção de grãos, envolvendo diversificação de espécies e investimento em adubação de manutenção nas condições do cerrado central de Minas Gerais. Após operações para condicionamento químico e físico do solo, nas safras 2014/15 a 2018/19, foi conduzido um experimento com seis opções de sistemas em semeadura direta sob sequeiro. Monocultivos de soja e de milho com médio investimento em adubação de manutenção foram tomados como referências para avaliação de opções com cultivos alternados dessas espécies, em médio ou alto investimento em adubação, com inserção ou não do capim braquiária (*Urochloa ruziziensis*) para produção de palhada. Cada tratamento/sistema foi disposto com área ao redor de 0,5 ha, onde foram alocados dez pontos amostrais georreferenciados para as avaliações agrônomicas a campo. Para a análise econômica foi realizado um levantamento dos gastos de insumos, horas máquina e mão de obra, a fim de se estimar o custo por hectare de cada sistema. A rentabilidade foi determinada pela diferença entre receita dos grãos e custo de produção. Os monocultivos de soja e de milho tendem a reduzir o seu potencial produtivo no decorrer do tempo, comparativamente aos cultivos alternados. Os sistemas com maior investimento em adubação de manutenção não refletem em incremento proporcional na produção acumulada de quatro safras, devido principalmente às reservas de nutrientes previamente constituídas no solo, levando à perda de eficiência de uso de N, P e K. A diversificação pela inclusão da braquiária em sistemas soja/milho reduz a produção e a rentabilidade quando a competição do capim é prejudicial no consórcio com o milho, mas possibilita melhor aproveitamento de

nutrientes e água para a formação de palhada, além de favorecer a supressão de plantas daninhas. O período de acompanhamento por quatro safras é insuficiente para evidenciar plenamente os benefícios da intensificação de sistemas de produção de grãos nas condições da Região Central de Minas Gerais.

Palavras-chave: Milho (*Zea mays* L.). Soja (*Glycine max* (L.) Merr.). Sucessão de culturas. Cerrado. Veranico.

ABSTRACT

SIMÃO, Eduardo de Paula, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2020. **Productive and economic performance of intensified soybean and corn cultivation systems in the Central Region of Minas Gerais.** Advisor: João Carlos Cardoso Galvão. Co-advisor: Álvaro Vilela de Resende.

Grain production in the central region of Minas Gerais state has been insufficient to meet the regional demand, thereby increasing dependence on other parts of the country. Long dry spells have reduced water availability for dryland farmed crops, increasingly aggravating the conditions of agricultural production. As such, there is a need to adapt and disseminate agronomic techniques able to minimize the negative effects of dry periods and provide greater production stability, according to the farmers' socioeconomic conditions. Grain production could be increased with the use of succession cropping and intercropping, which may make models plausible for the region. In this respect, the present study aimed to assess the performance of intensified grain production systems, involving species diversification and investment in maintenance fertilizer in the savannah (Cerrado) of central Minas Gerais. After chemical and physical conditioning of the soil in the 2014/15 to 2018/19 growing seasons, an experiment was conducted using six different no-till systems in dryland farming. Soybean and corn monoculture with medium investment in maintenance fertilizer were used as reference to assess the succession cropping options of these species, in medium or high fertilizer investment, inserting Congo grass (*Urochloa ruziziensis*) or not for straw production. Each treatment/system was used in an area of around 0.5 ha, where ten georeferenced sampling points were allocated for field assessment of agronomic performance. Economic analysis involved surveying input, machine hours and labor expenses in order to estimate the cost per hectare of each system. Profitability was determined by the difference between grain revenues and production costs. The production potential of soybean and corn monocultures tended to decline when compared to succession cropping. The systems with the highest investment in maintenance fertilizer did not exhibit a proportional increase in accumulated production over four growing seasons, due primarily to the previous nutrient reserves in the soil, leading to loss of efficiency in the use of N, P and K. Diversification by including Congo grass in soybean/corn systems reduced production and profitability when grass competition was harmful in intercropping with corn, but enabled better use of nutrients and water for straw formation, in addition to favoring weed suppression. The follow-up period of four growing seasons was insufficient to fully demonstrate the benefits of intensifying grain production systems in the conditions of the central region of Minas Gerais state.

Keywords: Corn (*Zea mays* L.). Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). Succession cropping. Cerrado. Dry spell.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
CAPÍTULO 1: RESPOSTAS AGRONÔMICAS À INTENSIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS NO CERRADO CENTRAL DE MINAS GERAIS	17
Resumo	18
Abstract	19
Introdução	20
Material e Métodos	21
Resultados e Discussão	25
Conclusões	36
Referências bibliográficas	36
CAPÍTULO 2: SUSTENTABILIDADE DA INTENSIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE SOJA E MILHO NO CERRADO CENTRAL DE MINAS GERAIS	43
Resumo	44
Abstract	45
Introdução	46
Material e Métodos	47
Resultados e Discussão	53
Conclusões	63
Referências bibliográficas	64
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
APÊNDICE A: APLICAÇÕES DE HERBICIDAS E FUNGICIDAS CONFORME OS TRATAMENTOS/SISTEMAS, NAS SAFRAS 2014/15 A 2018/19	70

INTRODUÇÃO GERAL

INTRODUÇÃO GERAL

A Região Central de Minas Gerais possuiu a maior concentração populacional do estado (IBGE, 2010), conseqüentemente, uma elevada demanda por alimentos. No segmento agrícola, essa região tem apresentado baixo desempenho produtivo de grãos, tornando-a dependente do fornecimento vindo de outras partes do estado ou do país (Embrapa, dados não publicados).

O relevo regional é, em grande parte, favorável para adoção de uma agricultura tecnificada com uso de mecanização, porém existem fatores limitantes para a atividade, principalmente em função das condições climáticas restritivas. Além de uma estação seca prolongada, destaca-se a ocorrência de períodos com baixa precipitação pluviométrica durante o ciclo, os chamados veranicos, que podem limitar de forma acentuada a produtividade das culturas (Bergonci et al., 2001; Bergamaschi e Matzenauer, 2014; Moraes et al., 2019). Cabe mencionar que tal conjuntura se repete também em outras áreas produtoras do Cerrado, porém, com menor intensidade do que nessa região de Minas Gerais.

Nesse contexto, é necessário aprimorar tecnologias que possam viabilizar a atividade agrícola regional (Artuzo et al., 2018), tendo como foco principal a adoção de sistemas conservacionistas, resilientes às adversidades climáticas e que garantam a otimização do aproveitamento dos recursos de produção.

Adequar os atributos químicos, físicos e biológicos do solo é uma estratégia capaz de minimizar os efeitos negativos das restrições hídricas durante o período de produção (Resende et al., 2016; Souza Junior et al., 2019; Lazzaretti et al., 2020). Nessas condições o desenvolvimento do sistema radicular das plantas tem sua capacidade de exploração do solo aumentada, tornando a planta capaz de buscar maior quantidade de água nas camadas mais profundas do solo.

Além de melhorar a disponibilidade hídrica para as culturas, o manejo cultural do sistema também é capaz de interferir na eficiência de uso dos fertilizantes. Os fertilizantes são uma das principais fontes de custo de um sistema de produção em sequeiro, influenciando diretamente na rentabilidade da atividade (Benites et al., 2010; Crusciol e Soratto, 2010).

A intensificação ecológica com diversificação de culturas é cotada como uma das estratégias capazes de melhorar as condições do solo e manter a viabilidade econômica do sistema de produção, principalmente quando se trata de cultivo em sequeiro na região do Cerrado. Os solos do Cerrado são caracterizados pela baixa fertilidade natural, devido ao alto grau de intemperismo. Sem contar que os métodos de produção adotados por grande parte dos

produtores não possuem características conservacionistas necessárias, reduzindo a matéria orgânica do solo (MOS) e, conseqüentemente, prejudicando a capacidade produtiva do solo (Carvalho et al., 2010).

A intensificação ecológica de sistemas de produção de grãos busca maximizar a produtividade das culturas, reduzindo a pressão sobre a abertura de novas áreas destinadas para a agricultura (Uzeda et al., 2017). A diversificação de culturas consiste da aplicação de cultivos de diferentes espécies de vegetal no mesmo local, com a finalidade de melhorar a sustentabilidade do solo (Souza Junior et al., 2019), com benefícios à qualidade e desempenho global do sistema de culturas.

Segundo Hirakuri et al. (2012), um sistema de produção pode ser definido como um conjunto de cultivos em uma propriedade rural, no qual a produção está interligada pelos processos de gestão da terra, capital e mão-de-obra. Segundo os autores, os sistemas podem ser classificados conforme o nível de complexidade da seguinte forma: monocultura é quando a produção de uma única cultura ocorre de forma isolada; sucessão de culturas é quando a sequência de duas espécies se repete no mesmo espaço por vários anos; rotação de culturas é quando ocorre o cultivo de diferentes espécies (mais de duas espécies) de forma ordenada e cíclica durante um determinado período de tempo; já a consorciação é quando duas culturas ocupam o mesmo espaço durante parte ou todo o período de cultivo; e os sistemas integrados referem-se aos cultivos de espécies com diferentes finalidades no mesmo espaço, a fim de maximizar o uso da terra e diversificar a renda.

O sistema de produção de grãos mais comum atualmente na Região Central de Minas Gerais é o de monocultivo de milho e, menos frequentemente, de soja ou sorgo. As condições climáticas praticamente inviabilizam a sucessão de culturas na mesma safra (modalidade safra/safrinha), tal qual adotada em grande parte das áreas produtoras do Cerrado. Sendo assim, no Cerrado central mineiro a sucessão de culturas é possível em diferentes safras ou anos agrícolas, tornando-se uma opção regional para diversificar culturas nos sistemas de produção.

A adoção do sistema de semeadura direta (SSD) é uma das práticas conservacionistas mais efetivas, mantendo a palhada sobre o solo e melhorando o ambiente produtivo. A presença de palhada sobre o solo promove a proteção contra os efeitos do clima, maximiza a ciclagem de nutrientes, conserva a água e fixa carbono no solo, por meio da preservação da matéria orgânica (Carvalho et al., 2010).

A decomposição da MOS é um processo muito rápido quando não se adotada manejos conservacionistas. No entanto, o aumento de seu conteúdo no solo envolve um processo lento

e custoso, principalmente quando se trata de regiões como o Cerrado brasileiro, que apresenta períodos do ano com altas temperaturas e umidade favorável à decomposição (Six et al., 2002). Há um grande gasto energético para manter e/ou recuperar os níveis adequados de MOS, o que se dá por meio do aporte de grandes quantidades de resíduos vegetais.

A introdução de espécies forrageiras em áreas produtoras de grãos é uma forma de intensificação do sistema de produção que vem sendo adotada em diversas regiões do Brasil, seja visando agregar o componente animal pela integração lavoura-pecuária (ILP) ou unicamente com o objetivo de aumentar a produção de palhada e outros benefícios com foco nas lavouras. O consórcio de culturas com braquiária tem se mostrado uma combinação benéfica para o sistema, uma vez que é possível aumentar a capacidade produtiva de biomassa, sem causar prejuízos para a cultura principal.

No consórcio com o milho, a semeadura da braquiária pode ser realizada simultaneamente, já que, em condições favoráveis, o desenvolvimento inicial do milho é mais acelerado, promovendo uma dominância sobre a braquiária ao ponto de não interferir significativamente sobre a produtividade de grãos (Gontijo Neto et al., 2014). No caso da soja, a semeadura de braquiária pode ser realizada quando a cultura atinge a maturação fisiológica, sem causar prejuízos à colheita e produtividade (Correia e Gomes, 2015).

A braquiária no sistema de produção apresenta diversos benefícios, além da conservação da água e do solo, incluindo melhoria da qualidade física e biológica do ambiente de cultivo. A inserção da braquiária pode ainda constituir uma estratégia de supressão de plantas daninhas, já que a maior cobertura do solo reduz a capacidade de desenvolvimento de invasoras durante o período entre as safras (Severino et al., 2006; Castro et al., 2011; Correia e Gomes, 2015; Marochi et al., 2018).

Diante do exposto, considerando os condicionantes ao desenvolvimento da produção de grãos na Região Central de Minas Gerais, compreende-se que é preciso viabilizar alternativas de sistemas de produção compatibilizando: investimentos para o condicionamento químico do solo e oferta de nutrientes no decorrer das safras; manejo baseado em semeadura direta com mínimo revolvimento do solo; diversificação de espécies cultivadas; incremento no aporte de resíduos vegetais para a formação de palhada; conservação da MOS; e manutenção de ambiente que proporcione maior potencial e estabilidade produtiva, com resiliência aos estresses climáticos.

2 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTUZO, F. D., FOGUESATTO, C. R., SOUZA, Â. R. L. D., & SILVA, L. X. D. Gestão de custos na produção de milho e soja. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, v. 20, n. 2, p. 273-294, 2018. <http://dx.doi.org/10.7819/rbgn.v20i2.3192>
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, p. 11, 2014.
- BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A. O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 949-956, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2001000700004> .
- CARVALHO, J. L. N., AVANZI, J. C., SILVA, M. L. N., MELLO, C. R. D., & CERRI, C. E. P. Potential of soil carbon sequestration in different biomes of Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(2), 277-290. 2010.
- CASTRO, G. S. A., CRUSCIOL, C. A. C., NEGRISOLI, E., & PERIM, L. Sistemas de produção de grãos e incidência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 29, n. SPE, p. 1001-1010, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582011000500006>
- CORREIA, N. M.; GOMES, L. J. P. Sobressemeadura de soja com *Urochloa ruziziensis* e a cultura do milho em rotação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 11, p. 1017-1026, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015001100004>
- CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P. Sistemas de produção e eficiência agronômica de fertilizantes. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes**. Vol. 1. IPNI, 2010. p 229 – 276.
- GONTIJO NETO, M.M.; VIANA, M.C.M.; ALVARENGA, R.C.; SANTOS, E.A. dos; SIMÃO, E. de P.; CAMPANHA, M.M. Sistema de integração lavoura-pecuária-floresta em Minas Gerais. *Boletim de Indústria Animal*, v.71, p.183-191, 2014. DOI: 10.17523/bia.v71n2p183.
- HIRAKURI, M. H.; DEBIASI, H.; PROCÓPIO, S. D. O.; FRANCHINI, J. C.; CASTRO, C. D. Sistemas de produção: conceitos e definições no contexto agrícola. **Londrina: Embrapa Soja**, v. 14, 2012. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/69333/1/Doc-335-OL.pdf> . Acesso em: 16 de março de 2020.

CENSO, I. B. G. E. Disponível em:< <http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. v. 23, 2010. Acesso em 23 de janeiro de 2020.

LAZZARETTI, G., MATSUOKA, M., BETTIO, I., PAVEGLIO, S. S., SHALLEMBERGER, J. B., & SOMAVILLA, L. Impacto de diferentes sistemas agrícolas e florestal na qualidade química e biológica do solo de uma propriedade rural. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 4, p. 330-350, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v8e42019330-350>

MAROCHI, A.; FERREIRA, A.; TAKANO, H. K.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; OVEJERO, R. F. L. Managing glyphosate-resistant weeds with cover crop associated with herbicide rotation and mixture. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 4, p. 381-394, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542018424017918>

MORAES, M. F.; DA SILVA, J. G.; GOMES, M. B.; PRADO, M. R. V.; DE ALMEIDA, J. P. M.; FELETTI, R. C. G. Nutrição e adubação da soja na região do Cerrado. In: FLORES, R. A.; DA CUNHA, P. P.; MARCHÃO, R. L.; MORAES, M. F. **Nutrição e adubação de grandes culturas na região do Cerrado**, Goiânia: Gráfica UFG, 2019. p. 369-418.

RESENDE, A. V. et al. Solos de Fertilidade Construída: características, funcionamento e manejo. *Informações Agronômicas*, 156. IPNI. Dezembro, 2016. ISSN: 2311-5904.

SEVERINO, F. J.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Interferências mútuas entre a cultura do milho, espécies forrageiras e plantas daninhas em um sistema de consórcio. II – Implicações sobre as espécies forrageiras. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 45-52, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/pd/v24n1/a07v24n1.pdf> . Acesso em: 23 de janeiro de 2020.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.M.; MORAES, J.C. & ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of no-tillage. *Agronomie*, 22:755-775, 2002.

SOUZA JUNIOR, J. P.; FLORES, R. A.; CAMPOS, C. N. S.; CORREIA, M. A. R.; FRAZÃO, J. J.; PRADO, R. M.; TEIXEIRA, W. G.; BRASIL, E. P. F.; OLIVEIRA JÚNIOR,

J. P.; MARCHÃO, R. L. A sustentabilidade agrícola na região do Cerrado. In: FLORES, R. A.; DA CUNHA, P. P.; MARCHÃO, R. L.; MORAES, M. F. **Nutrição e Adubação de grandes culturas na região do Cerrado**. UFG. Goiânia, 2019. p. 17-35.

UZEDA, M. C.; TAVARES, P. D.; ROCHA, F. I.; ALVES, R. C. **Paisagens agrícolas multifuncionais: intensificação ecológica e segurança alimentar**. Área de Informação da Sede-Texto para Discussão (ALICE), 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1074186/1/Paisagensagricolasmultifuncionais.pdf> . Acesso em: 17 de março de 2020.

CAPÍTULO 1

RESPOSTAS AGRONÔMICAS À INTENSIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS NO CERRADO CENTRAL DE MINAS GERAIS

RESUMO

SIMÃO, Eduardo de Paula, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2020. **Respostas agronômicas à intensificação de sistemas de produção de grãos no cerrado central de Minas Gerais.** Orientador: João Carlos Cardoso Galvão. Coorientador: Álvaro Vilela de Resende.

A intensificação sustentável dos sistemas de produção é uma necessidade diante da crescente demanda mundial por alimentos. Dentre as opções de intensificação está o sistema de semeadura direta, que tem proporcionado maior eficiência no uso dos recursos naturais sem comprometer o potencial produtivo das culturas. O adequado fornecimento de nutrientes, juntamente com a combinação de culturas visando maior potencial de produção de palhada, são estratégias para melhorar as condições de aprofundamento radicular e o aproveitamento da água em sistemas de produção de grãos em sequeiro, conferindo resiliência frente às instabilidades climáticas. Foi conduzido um experimento durante quatro safras, com o objetivo de comparar as respostas agronômicas a tratamentos de intensificação de sistemas de produção de grãos no cerrado da Região Central de Minas Gerais. Os sistemas estudados consistiram em seis opções em semeadura direta, incluindo monocultivos de soja e de milho com médio investimento em adubação de manutenção, além dos cultivos alternados dessas espécies em médio ou alto investimento em adubação, com inserção ou não da braquiária (*Urochloa ruziziensis*) para produção de palhada. Avaliaram-se a produtividade de grãos, o aporte de resíduos vegetais na colheita, a palhada sobre o solo antes da semeadura e atributos químicos do solo. Sistemas de produção de soja e de milho em monocultura perdem potencial produtivo no decorrer do tempo, em comparação ao seu cultivo alternado em sucessão anual. O maior investimento em adubação de manutenção não promove aumento na produção de grãos acumulada até a quarta safra. Sob menor investimento em adubação o consórcio com braquiária pode prejudicar a produtividade do milho. Com a inserção da braquiária, o aporte médio de resíduos para formação de palhada no sistema de sucessão anual soja/milho aumenta, aproximando-se de 8 t ha⁻¹ ano⁻¹. Após quatro safras, ainda são pouco evidentes diferenças nos atributos químicos do solo devido à intensificação de sistemas de produção de grãos.

Palavras chaves: Déficit hídrico. Palhada. Diversificação de culturas. Milho. Soja. Braquiária.

ABSTRACT

SIMÃO, Eduardo de Paula, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March 2020. **Agronomic responses to the intensification of grain production systems in the Cerrado of central Minas Gerais state.** Advisor: João Carlos Cardoso Galvão. Co-advisor: Álvaro Vilela de Resende.

Sustainable intensification of production systems is needed in the face of growing world demand for food. One option is the no-till system, which enables more efficient use of natural resources without compromising the production potential of crops. An adequate nutrient supply, along with a combination of crops, aiming at higher straw production potential, are strategies to improve root growth conditions and water use efficiency in dryland grain production, providing resilience in the face of climatic inconstancy. An experiment was conducted over four growing seasons in order to compare the agronomic responses to intensified treatments of grain production systems in the Cerrado of central Minas Gerais state. The systems studied consisted of six no-till farming options, including soybean and corn monoculture, with medium investment in maintenance fertilizer, in addition to succession cropping of these species in medium or high fertilizer investment, with and without inserting Congo grass (*Urochloa ruziziensis*) for straw production. The following were assessed: grain yield, straw production, mulching before planting, and soil chemical properties. Soybean and corn monoculture production potential declined over time, when compared to annual succession cropping. The higher investment in maintenance fertilizer did not increase accumulated grain production over four growing seasons. With less investment in fertilizer, intercropping with grass may compromise corn yield. With the insertion of grass, the average contribution of residues for straw formation in the annual soybean/corn succession system increased to nearly 8 t ha⁻¹ year⁻¹. After four growing seasons, no differences in soil chemical properties were observed as a result of the intensification of grain production systems.

Keywords: Water deficit. Straw. Crop diversification. Corn. Soybean. Congo grass.

1 – INTRODUÇÃO

A inserção de tecnologias sustentáveis nas atividades produtivas tem se tornado indispensável no atual cenário agrícola. Aumentar a eficiência nos sistemas de produção é o principal desafio para manter a sustentabilidade da agropecuária, reduzindo custos e causando o mínimo de impacto sobre o ambiente.

A exploração agrícola quando adota sistemas intensificados com rotação de culturas e o sistema de semeadura direta (SSD), por exemplo, tende a manter ou até mesmo melhorar a fertilidade do solo (Wiesmeier et al., 2019), criando uma condição que demanda menos fertilizantes com o passar do tempo. Segundo Sá et al. (2010), o incremento do conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS), proporcionado pelo manejo cultural apropriado, promove aumento das cargas negativas, influenciando diretamente na capacidade de troca catiônica (CTC) do solo e melhorando a eficiência de uso de fertilizantes.

No SSD, os materiais orgânicos permanecem sobre o solo, menos sujeitos aos processos de decomposição. A palhada promove benefícios como a proteção do solo e da microbiota contra os fatores climáticos, impactando nos ciclos do carbono (Gama-Rodrigues et al., 2005) e do nitrogênio no solo (Perez et al., 2005), além de favorecer a infiltração de água e sua disponibilidade para as plantas (Moreira et al., 2011; Murga-Orillo et al., 2016).

Sequências de cultivos com diferentes espécies propiciam a diversificação de restos culturais, condição necessária ao aumento dos teores de MOS (Sá et al., 2010). Em algumas situações, há a possibilidade de inclusão de braquiária em consórcio com a cultura de interesse, aumentando a produção de biomassa (Crusciol e Soratto, 2010) e a ciclagem de nutrientes (Cavalli e Lange, 2018).

O rendimento de culturas como a soja é dependente das condições climáticas, do ciclo, da cultivar, do manejo cultural e, principalmente, da disponibilidade de nutrientes no solo (Moraes et al., 2019). Assim, atender a demanda nutricional da cultura, promovendo uma maior adubação, pode constituir um investimento para minimizar os efeitos de inconstâncias climáticas como os veranicos.

Na Região Central de Minas Gerais, ainda observa-se uma agricultura com menor investimento em tecnologia, alcançando produção de grãos abaixo do potencial das culturas, o que se justifica, principalmente, pelas condições ambientais mais restritivas, envolvendo estação seca prolongada e veranicos severos que resultam em períodos de forte deficiência hídrica no solo durante a safra. Assim, os estresses climáticos associados à baixa adoção de tecnologias pelos produtores constituem fatores limitantes ao desenvolvimento agrícola regional.

Este trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho agrônômico de sistemas intensificados, envolvendo diversificação de espécies e investimento em adubação, na produção de grãos em sequeiro no cerrado da Região Central de Minas Gerais.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em condições de sequeiro na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo (latitude 19° 28' 36" S, longitude 44° 11' 53" W, e altitude 732 m), em Sete Lagoas – MG, durante as safras 2014/15, 2015/16, 2016/17 e 2017/18. O clima da região é classificado, segundo Köppen (1948), tipo Cwa (com inverno seco e verão quente), com temperatura média anual de 21,8 °C e precipitação média anual de 1.345 mm. O solo, classificado como Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso (660 g kg⁻¹ de argila), já vinha sendo utilizado há mais de 30 anos com preparo convencional e, nos anos que antecederam o presente trabalho, os cultivos envolveram milho e soja em semeadura direta, com pousio nas entressafras. Os dados de precipitação pluviométrica nos períodos das safras compreendidas no estudo estão apresentados na Figura 1.

As condições médias da fertilidade do solo na camada 0 - 20 cm de profundidade, antes da instalação do experimento, eram: pH em água 5,4; matéria orgânica 35 g kg⁻¹; teores de P e K (extrator Mehlich 1) de 2,4 e 17,3 mg dm⁻³, respectivamente; teores de Ca e Mg de 3,8 e 0,9 cmolc dm⁻³, respectivamente; saturação por bases (V) de 39%; e saturação por Al (m) de 4,8%.

Para o condicionamento inicial, antecedendo a primeira safra, toda a área experimental recebeu práticas de escarificação a cerca de 25 cm de profundidade e aplicação de calcário dolomítico (4,0 t ha⁻¹) incorporado com arado de aiveca e grade aradora. Em seguida, foram aplicados gesso agrícola (3,0 t ha⁻¹), superfosfato simples (1 t ha⁻¹), cloreto de potássio (300 kg ha⁻¹) e FTE (90 kg ha⁻¹), incorporados com grade niveladora a 10 cm de profundidade. Esses procedimentos foram baseados nas recomendações de Sousa e Lobato (2004) e visaram à correção da acidez e construção da fertilidade no perfil do solo, para então se reiniciar o manejo em semeadura direta.

A área total do experimento possui cerca de quatro hectares, com declive uniforme, e foi dividida em seis faixas em nível para acomodar os tratamentos de intensificação de sistemas de produção. Essa intensificação envolveu diversificação de espécies e dois níveis de investimento em adubação de manutenção das culturas (Tabela 1). Os tratamentos foram assim constituídos: Sistema 1 – Soja monocultura com médio investimento em adubação (Sm); Sistema 2 – Milho monocultura em médio investimento (Mm); Sistema 3 – Sucessão

anual de soja e milho em médio investimento (SMm); Sistema 4 – Sucessão de soja e milho com inserção da braquiária (*Urochloa ruziziensis*) para incremento de palhada, em médio investimento (SMBm); Sistema 5 – Sucessão de soja e milho em alto investimento (SMa); e Sistema 6 – Sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em alto investimento (SMBa).

Os cultivos foram conduzidos com espaçamento de 0,5 m entre linhas para a soja e 0,7 m no caso do milho. Nos sistemas com inserção da braquiária, as sementes da braquiária foram distribuídas junto ao adubo no sulco de semeadura do milho e a lanço na fase reprodutiva da soja (estádio fenológico R5.5), conforme procedimento de Borghi et al. (2017).

Os sistemas envolvendo médio investimento corresponderam ao manejo nutricional representativo do padrão utilizado regionalmente, enquanto os sistemas de alto investimento receberam maior aporte de fertilizantes na adubação NPK de manutenção e aplicações foliares com macro e/ou micronutrientes, além de uma aplicação adicional de fungicida para controle de doenças da soja. Sob alto investimento, também foi feita reaplicação de calcário dolomítico em superfície (3,3 t ha⁻¹), precedendo a safra 2016/17.

O manejo fitossanitário foi realizado conforme critérios agronômicos aplicáveis a cada sistema de produção. As pulverizações de herbicidas e fungicidas realizadas em cada safra encontram-se listadas no Anexo 1. O controle de insetos praga foi padronizado para a soja ou para o milho, quando pertinente, independentemente do sistema de produção.

O experimento procurou reproduzir ambientes de lavouras comerciais, requerendo parcelas de grandes dimensões para melhor expressão do efeito de diferentes condições derivadas dos sistemas/tratamentos. Isso exigiu o uso de maquinário de grande porte, impondo limitações que não permitiram a utilização de delineamento experimental clássico, com repetições estatísticas verdadeiras. Assim, os dados de avaliações dos cultivos foram obtidos como pseudorrepetições (Ferreira et al., 2012; Cecagno et al., 2016; Peixoto et al., 2019), por meio de amostras independentes em dez pontos aleatórios, previamente georreferenciados dentro da área destinada a cada sistema.

A avaliação de produtividade de grãos foi realizada após a maturação fisiológica das culturas, com a colheita de três linhas de três metros de comprimento nas imediações de cada ponto georreferenciado, corrigindo-se a umidade para 13%. Por ocasião da colheita, também foi quantificada a produção de biomassa seca de resíduos vegetais em cada sistema, individualizando a contribuição da braquiária nos tratamentos pertinentes. Após a colheita nos tratamentos com inclusão da braquiária, a forrageira permaneceu em livre crescimento durante o período de entressafra.

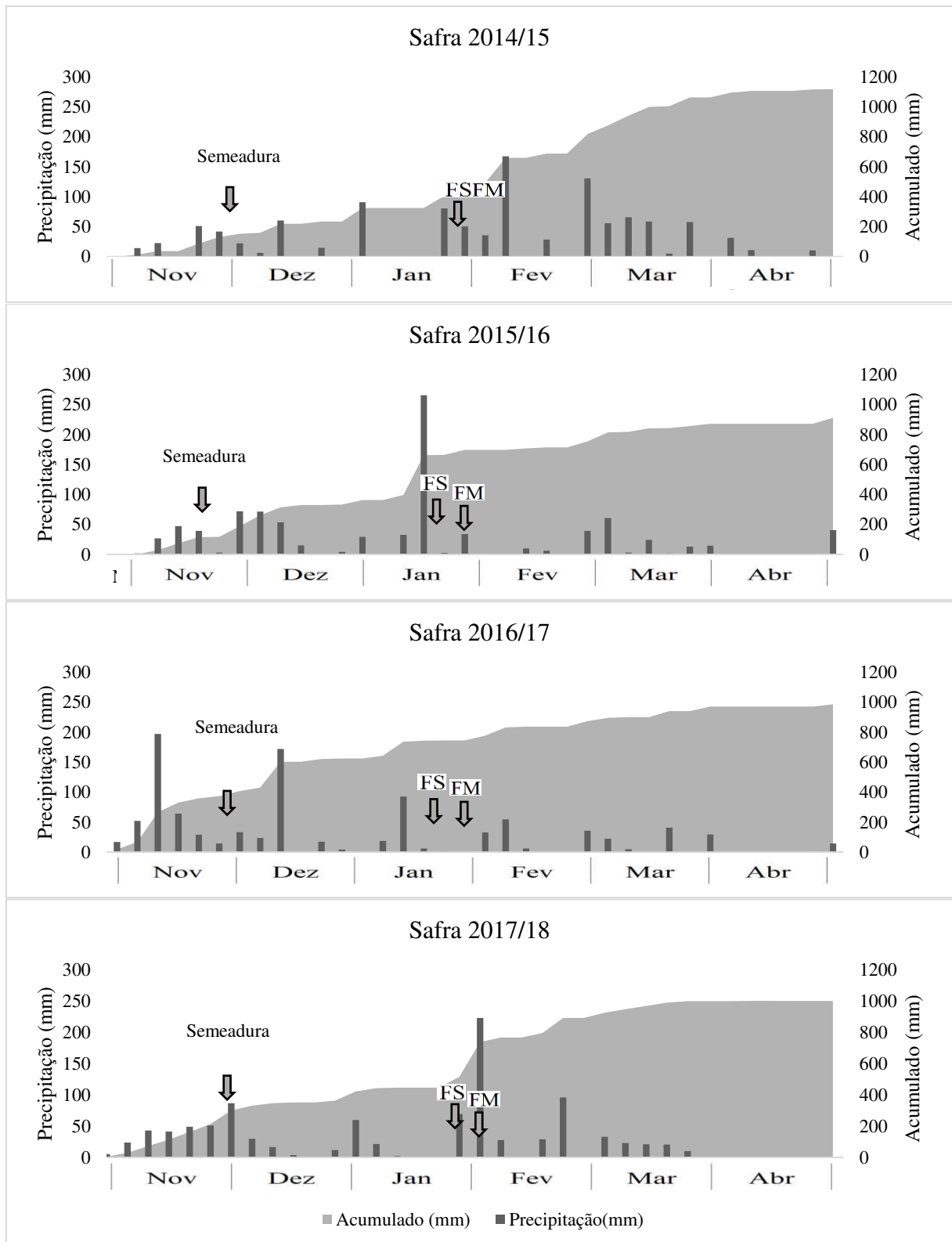


Figura 1. Distribuição da precipitação pluviométrica por períodos de cinco dias e total acumulado em cada safra. Datas de semeadura: 04/12/2014, 16/11/2015, 02/12/2016 e 06/12/2017. Datas de florescimento da soja (FS) e do milho (FM): Safra 1 - 11/02/2015 (soja e milho); Safra 2 - 29/01/2016 (soja) e 01/02/2016 (milho); Safra 3 - 29/01/2017 (soja) e 07/02/2017 (milho); Safra 4 - 06/02/2018 (soja) e 09/02/2018 (milho).

Tabela 1. Sequência de culturas e aportes de nutrientes (kg ha^{-1}) nas adubações de manutenção em cada sistema de produção, nas quatro safras avaliadas.

Sistema	Safra 2014/15			Safra 2015/16			Safra 2016/17			Safra 2017/18			Total aplicado
	Cultura	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Foliar	Cultura	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Foliar	Cultura	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Foliar	Cultura	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Foliar	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O
Sm	Soja	8-82-82	-	Soja	7-71-71	-	Soja	23-79-45	-	Soja	20-69-39	-	58-301-237
Mm	Milho	100-116-66	-	Milho	116-88-50	-	Milho	96-89-59	-	Milho	75-35-20	-	387-328-195
SMm	Milho	100-116-66	-	Soja	7-71-71	-	Milho	96-89-59	-	Soja	20-69-39	-	223-345-235
SMBm	Milho	100-116-66	-	Soja	7-71-71	-	Milho	96-89-59	-	Soja	20-69-39	-	223-345-235
SMA	Soja	10-96-96	Sim	Milho	167-115-66	-	Soja	39-135-81	Sim	Milho	139-35-20	-	355-381-263
SMBa	Soja	10-96-96	Sim	Milho	167-115-66	-	Soja	39-135-81	Sim	Milho	139-35-20	-	355-381-263

Sm - soja monocultura com médio investimento em adubação de manutenção; Mm - milho monocultura em médio investimento; SMm – sucessão anual de soja e milho em médio investimento; SMBm - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em médio investimento; SMA - sucessão de soja e milho em alto investimento; SMBa - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em alto investimento.

Safra 2014/15: soja cultivar BRS 7380 RR e milho cultivar AS 1581 PRO. Safra 2015/16: soja BRS 8081 RR e milho AG 8088 PRO2. Safra 2016/17: soja RK 5813 RR e milho AG 8088 PRO2. Safra 2017/18: soja RK 6813 RR e milho AG 8088 PRO2.

Adubação foliar da soja em nível alto de investimento, com aplicações em 2014/15 (total de 5 kg ha^{-1} de Monoamônio Fosfato - MAP e 3 kg ha^{-1} de Nitrato de Cálcio) e em 2016/17 (total de 2 L ha^{-1} do coquetel de nutrientes Quimifol Cerrado®).

A quantidade de palhada existente, antecedendo a semeadura das safras 2015/16 (primeira em semeadura direta) e 2018/19 (posterior às quatro safras do presente estudo), foi estimada por amostragem de 1 m² em locais próximos aos pontos georreferenciados. Para o monitoramento da fertilidade do solo, em cada um dos referidos pontos foram coletadas amostras compostas, separando-se as profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Uma primeira amostragem para caracterizar a condição inicial dos sistemas foi realizada em dezembro de 2014, após a incorporação dos insumos para o condicionamento do perfil. Em novembro de 2018, nova amostragem foi feita para acompanhar a evolução de atributos da fertilidade após a condução de quatro safras. Neste caso, no entorno de cada ponto georreferenciado, foram coletadas nove amostras simples, sendo três na linha do último cultivo e seis nas entrelinhas. As análises laboratoriais foram realizadas conforme metodologias descritas em Silva (2009).

Os dados foram submetidos a análise de variância com auxílio do programa Sisvar (Ferreira, 2011), considerando delineamento inteiramente casualizado e dez unidades amostrais independentes dentro de cada sistema como repetições (pseudorrepetições). Na comparação de médias das variáveis empregou-se o teste LSD a 5%. Devido ao fato de os tratamentos não apresentarem todos a mesma sequência de culturas ao longo das safras, as análises para a produtividade de grãos foram aplicadas a subconjuntos de dados, de modo a permitir checar as respostas da soja e do milho, de forma individual e agregada na sucessão. Quando pertinente, o fator ano agrícola foi incluído como fonte de variação, segundo o modelo matemático: $Y = \mu + A + \text{erro (a)} + B + AxB + \text{erro (b)}$, sendo “A” o sistema de produção e “B” o ano ou safra.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos de intensificação de sistemas de produção impactaram significativamente a produtividade de grãos das culturas de soja e de milho (Tabela 2), as quantidades de palhada sobre o solo no início de safra e de biomassa remanescente após a colheita dos grãos (Tabela 3), bem como, a produção de grãos acumulada após quatro safras dos tratamentos envolvendo soja e milho em sucessão (Tabela 4).

A produtividade de grãos da soja não diferiu em função dos sistemas Sm, SMa e SMBa, em que foi cultivada no primeiro ano do experimento, safra 2014/15 (Tabela 5). A ausência de diferença nesse momento inicial de estabelecimento dos sistemas era esperada, devido aos procedimentos de preparo do solo e de condicionamento da fertilidade realizados previamente na área experimental. Desse modo, a fertilidade construída anulou eventuais

efeitos do processo de intensificação, que, até então, se restringia ao incremento na adubação de manutenção (Tabela 1).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para produtividade de grãos de soja e de milho em sistemas de produção intensificados com sucessão de culturas, investimento em adubação e/ou inclusão da braquiária. Safras 2014/15 a 2017/18.

Fonte de variação	GL	QM - produtividade de soja		QM - produtividade de milho	
		Safras 2014/15 e 2016/17	Safras 2015/16 e 2017/18	Safras 2014/15 e 2016/17	Safras 2015/16 e 2017/18
Sistema (S)	2	1871049**	1142513*	5282529**	22724330**
Erro (1)	27	610507	280425	610507	980620
Ano (A)	1	12857510**	294000ns	1252237ns	8208081**
S x A	2	930438**	3068172**	1261703ns	4494695**
Erro (2)	27	747503	124241	747503	727744
C.V. 1 (%)		11,73	17,62	8,13	10,34
C.V. 2 (%)		10,41	11,73	9,00	8,91

* e ** = significativo a 5% e 1% pelo teste F, respectivamente; ns = não significativo.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para biomassa seca remanescente após a colheita dos grãos e palhada à época da semeadura, em sistemas de produção de soja e de milho intensificados com sucessão de culturas, investimento em adubação e/ou inclusão da braquiária.

Fonte de variação	GL	QM - biomassa após colheita		QM - palhada no início de safra	
		Acumulado de 4 safras	Média anual	Inicial (2015/16)	Final (2018/19)
Sistema	5	663951045**	41495405**	64758790**	52527192**
Erro	54	5909119	369229	2837697	1772042
C.V. (%)		9,45	9,45	27,77	34,45

** = significativo a 1% pelo teste F.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para produção acumulada de grãos de soja e milho em sucessão em sistemas de produção intensificados com investimento em adubação e/ou inclusão da braquiária. Safras 2014/15 a 2017/18.

Fonte de variação	GL	QM - produção acumulada de grãos
Investimento adubação (I)	1	1721420 ns
Braquiária (B)	1	4507779 ns
I x B	1	19864083**
Erro	36	2129634
C.V. (%)		5,69

** = significativo a 1% pelo teste F; ns = não significativo.

Em função da dinâmica de alternância das culturas nas safras subsequentes conforme o planejamento experimental (Tabela 1), o cultivo simultâneo da soja nos sistemas Sm, SMA e SMBa veio a ocorrer novamente em 2016/17, no terceiro ano agrícola. Nesta safra, os tratamentos combinando sucessão soja/milho e alto investimento em adubação de

manutenção, com ou sem inclusão de braquiária para palhada, apresentaram produtividade de soja superior à obtida no sistema de monocultivo em médio investimento (Tabela 5).

Observa-se que em 2016/17 o potencial produtivo foi menor que em 2014/15, com redução significativa no rendimento de grãos de soja nos três sistemas (Tabela 5). A provável causa dessa redução foi a condição climática mais limitante, com períodos sem chuva durante o ciclo em 2016/17, notadamente antes e no início do florescimento da soja (Figura 1). Segundo Farias et al. (2007), a demanda de água vai aumentando à medida que avança o desenvolvimento vegetativo, atingindo o máximo na fase de florescimento (R1/R2) da cultura.

Nessas circunstâncias, ganha importância a cobertura do solo proporcionada pela sucessão com o milho, que deixa expressiva quantidade de resíduos de alta relação C/N após a colheita (Crusciol e Soratto, 2010), e também pela inclusão da braquiária para incremento de palhada (Crusciol et al., 2009), além do efeito de maior investimento em adubação (Moraes et al., 2019). Essas formas de intensificação do sistema de produção proporcionaram melhores condições para a cultura da soja suportar os períodos de baixa precipitação, resultando em maiores rendimentos de grãos, comparativamente à monocultura (Tabela 5).

Tabela 5. Produtividade de grãos de soja (kg ha^{-1}) em resposta à intensificação de sistemas de produção em sequeiro, na região Central de Minas Gerais. Sete Lagoas – MG, 2019.

Sistema	Safr		Média
	2014/15	2016/17	
Soja monocultura, médio investimento (Sm)	2.917 a A	1.499 b B	2.207 b
Soja/Milho, alto investimento (SMA)	3.073 a A	2.327 a B	2.700 a
Soja/Milho/Braquiária, alto investimento (SMBa)	3.076 a A	2.462 a B	2.768 a
Média	3.021 A	2.095 B	

Sistema	Safr		Média
	2015/16	2017/18	
Soja monocultura, médio investimento (Sm)	3.248 a A	2.211 b B	2.729 b
Soja/Milho, médio investimento (SMm)	3.047 a A	3.259 a A	3.153 a
Soja/Milho/Braquiária, médio investimento (SMBm)	2.930 a B	3.335 a A	3.132 a
Média	3.075 A	2.935 A	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Nas safras 2015/16 e 2017/18 a soja foi cultivada somente em tratamentos com médio investimento em adubação (Tabela 5). Em 2015/16, que correspondeu ao segundo ano do experimento, ainda não houve diferença entre os sistemas de produção, enquanto, em 2017/18, a produtividade na monocultura foi significativamente mais baixa, confirmando a

redução que já havia sido detectada no ano agrícola anterior frente aos sistemas com alto investimento em adubação.

É nítido o benefício da sucessão de culturas, já que, com o tempo, o monocultivo de soja (Sm) perdeu potencial produtivo em relação aos sistemas mais diversificados, em qualquer nível de investimento (Tabela 5). Ao longo das quatro safras, confirmou-se a que a monocultura de soja é uma opção menos sustentável, por razões bem documentadas na literatura (Santos et al., 2014; Resende et al., 2016; Mendes et al., 2017).

A inserção da braquiária consorciada nos cultivos de milho ou em sobressemeadura na soja (SMBa e SMBm) não aumentou a produtividade da leguminosa em relação ao sistema de sucessão simples soja/milho e implicou em menor produtividade da soja na safra de 2015/16 comparada à de 2017/18 (Tabela 5). Esperava-se alguma vantagem em produtividade devido ao efeito da braquiária no incremento da quantidade de palhada existente à época da semeadura da soja em 2015/16 (Tabela 6).

Tabela 6. Palhada ($t\ ha^{-1}$) presente à época da semeadura e biomassa vegetal em base seca ($t\ ha^{-1}$) estimada após a colheita dos grãos ao longo de quatro safras, em resposta à intensificação de sistemas de produção em sequeiro, na região Central de Minas Gerais. Sete Lagoas – MG, 2019.

Sistemas	Palhada na semeadura		Biomassa vegetal na colheita		
	2015/16 (Inicial)	2018/19 (Final)	Total de quatro safras	Contribuição da braquiária (duas safras consórcio milho)	Aporte médio anual
Sm	2,3 c	0,7 c	10,9 e	0	2,7 e
Mm	7,5 ab	5,9 a	33,2 a	0	8,3 a
SMm	6,7 b	2,1 b	25,7 c	0	6,4 c
SMBm	8,4 a	3,3 b	32,2 a	4,4	8,0 a
SMa	3,5 c	5,2 a	23,5 d	0	5,9 d
SMBa	8,0 ab	6,3 a	28,8 b	2,3	7,2 b

Sm - soja monocultura com médio investimento em adubação de manutenção; Mm - milho monocultura em médio investimento; SMm - sucessão anual de soja e milho em médio investimento; SMBm - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em médio investimento; SMA - sucessão de soja e milho em alto investimento; SMBa - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em alto investimento.

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Essa ausência de benefícios da braquiária sobre o desempenho produtivo da soja nas condições do presente estudo corrobora o relato de Mendes et al. (2017), que destacaram respostas inexpressivas à intensificação de sistemas nos seis primeiros anos de estabelecimento de esquemas de sucessão e rotação envolvendo soja, milho, braquiária,

milheto e/ou crotalária no Mato Grosso. Por outro lado, contrasta com resultados positivos em curto prazo reportados em trabalhos conduzidos em outras regiões (Alves et al., 2013; Ceccon et al., 2013; Andrade et al., 2017).

No primeiro ano do experimento (2014/15), o milho foi cultivado nos tratamentos com médio investimento em adubação de manutenção, os quais não diferiram quanto à produtividade de grãos (Tabela 7). O desempenho do sistema de monocultivo (Mm) assemelhou-se ao dos que envolviam sucessão de culturas (SMm e SMBm), pelo fato de ainda não haver diferença no histórico de manejo entre eles, exceto pela presença da braquiária no tratamento consorciado.

Tabela 7. Produtividade de grãos de milho (kg ha^{-1}) em resposta à intensificação de sistemas de produção em sequeiro, na região Central de Minas Gerais. Sete Lagoas – MG, 2019.

Sistema	Safr		Média
	2014/15	2016/17	
Milho monocultura, médio investimento (Mm)	9.337 a A	10.021 a A	9.679 a
Soja/Milho, médio investimento (SMm)	9.850 a A	10.308 a A	10.079 a
Soja/Milho/Braquiária, médio investimento (SMBm)	9.197 a A	8.921 b A	9.059 b
Média	9.461 A	9.750 A	

Sistema	Safr		Média
	2015/16	2017/18	
Milho monocultura, médio investimento (Mm)	8.147 c A	8.566 b A	8.357 b
Soja/Milho, alto investimento (SMA)	9.107 b B	10.962 a A	10.035 a
Soja /Milho/Braquiária, alto investimento (SMBa)	10.362 a A	10.308 a A	10.335 a
Média	9.206 B	9.945 A	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Na safra 2016/17, com milho novamente nos sistemas sob médio investimento, o consórcio com braquiária (SMBm) comprometeu significativamente o rendimento de grãos (Tabela 7). Possivelmente, a maior competição por nutrientes, notadamente o nitrogênio (N), agravada pela restrição hídrica na fase de desenvolvimento vegetativo (Figura 1), retardou o fechamento do dossel, desfavorecendo o milho.

Tal situação contrasta com o que se observou em 2015/16, quando o consórcio com a braquiária não interferiu na produtividade do milho sob maior nível de adubação (SMBa). Pelo contrário, esse tratamento foi o mais produtivo naquele ano (Tabela 7) e parece ter se beneficiado do histórico de intensificação do sistema. Isso porque, além do maior aporte de nutrientes, o incremento de palhada pela braquiária sobressemeada na soja antecessora (Tabela 6) possivelmente amenizou os efeitos da escassez de chuvas antes e após o florescimento do milho (Figura 1), ao ponto de neutralizar os prejuízos sofridos nos outros

dois sistemas (SMa e Mm). Naquela safra, o florescimento pleno do milho foi registrado em 01/02/2016, após alguns dias sem chuva e com a precipitação voltando a ocorrer somente onze dias depois, em 12/02/2016.

A fase reprodutiva é considerada o momento mais crítico para a cultura do milho, por se tratar do período de maior sensibilidade à deficiência hídrica. De acordo com Bergamaschi e Matzenauer (2014), durante o florescimento e o enchimento de grãos são maiores os impactos negativos da deficiência hídrica sobre a produtividade. Em estudo sobre eficiência de irrigação para o milho durante quatro safras, Bergonci et al. (2001) concluíram que a fase mais sensível ao déficit hídrico foi durante o florescimento, quando a irrigação se mostrou mais efetiva para o rendimento de grãos.

A inclusão de braquiária em consórcio, como forma de diversificação e intensificação de sistemas de produção requer atenção no que diz respeito ao manejo nutricional e tratos culturais das espécies envolvidas, a fim de prevenir ou superar circunstâncias indesejáveis, onde o capim compromete as culturas principais.

O consórcio com braquiária interfere na quantidade de nitrogênio necessária para atender a demanda da cultura do milho, já que são duas gramíneas exigentes nesse nutriente e, além disso, há maior imobilização do N pelos microrganismos do solo em condições de alta produção de palhada (Crusciol et al., 2009). Dessa forma, no milho consorciado com braquiária ou em sistemas de rotação com predomínio de gramíneas, os níveis de adubação nitrogenada devem ser mais elevados, a fim de atender a demanda nutricional da cultura produtora de grãos em ambientes com maior competição (Crusciol e Soratto, 2010).

O crescimento da braquiária é fortemente estimulado pela incidência de luz solar (Portes et al., 2000; Borghi et al., 2007), de modo que o sombreamento é uma forma eficiente de controle do seu desenvolvimento vegetativo. Dessa forma, estresses nutricionais e hídricos, que retardam o fechamento do dossel do milho em lavouras consorciadas (Resende et al., 2008; Crusciol et al., 2009; Resende et al., 2019), favorecem a braquiária e potencializam a competição interespecífica, repercutindo negativamente na produtividade de grãos.

Assim como verificado no caso da soja, o cultivo recorrente de milho seguido de pousio (Mm) mostrou-se inadequado, mais suscetível à instabilidade de produção (Tabela 7). Na safra 2017/18, os sistemas com sucessão de culturas em alto investimento não se diferenciaram em produtividade e foram superiores ao monocultivo. Mesmo acumulando mais resíduos para manutenção de palhada ao longo do tempo (Tabela 6), a monocultura de milho apresentou declínio da produtividade, o que, em parte, pode ser atribuído ao menor fornecimento de nutrientes, sobretudo de N (Tabela 1), em safras sucessivas nesse tratamento.

Quando considerada a produção acumulada de grãos após quatro safras dos cultivos em sucessão de soja e milho, houve interação entre nível de investimento em adubação e inclusão da braquiária nos sistemas (Tabela 4). Sob médio investimento em adubação de manutenção, a intensificação com braquiária resultou em significativa perda de produtividade global do sistema soja/milho, o que não se verificou na condição de investimento mais alto (Tabela 8).

Tabela 8. Produção acumulada de grãos (kg ha^{-1}), após quatro safras com cultivos alternados de soja e milho, em resposta à intensificação de sistemas de produção em sequeiro, na região Central de Minas Gerais. Sete Lagoas – MG, 2019.

Inclusão de braquiária	Investimento em adubação		Média
	Médio	Alto	
Sem braquiária	26.464 aA	25.469 aA	25.967 a
Com braquiária	24.383 bB	26.207 aA	25.295 a
Média	25.423 A	25.838 A	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Tais diferenças na produção acumulada refletem, principalmente, a pressão de competição da braquiária por fatores de crescimento como a luz, a água e os nutrientes no consórcio com o milho. Prova disso são os valores de biomassa da braquiária mensurados por ocasião da colheita, os quais, sob médio investimento em adubação, totalizaram quase o dobro da quantidade observada em alto investimento (Tabela 6), demonstrando que, quando o aporte de nutrientes não é limitante, o milho exerce dominância sobre a braquiária e a produtividade de grãos não é afetada.

Na Figura 2, são apresentados os resultados de atributos de interesse na análise de solo, com a média após as aplicações de calcário, gesso e adubações corretivas para condicionamento inicial do perfil e o valor aferido em cada sistema após quatro safras de condução do experimento. Constata-se que o solo de fertilidade construída garantiu reservas disponíveis de fósforo (P) e de potássio (K) suficientes para atender a demanda dos primeiros cultivos. Excluída a possibilidade de deficiência de P e K, o presente estudo confirmou que o ajuste no suprimento de N é um forte condicionante no cultivo consorciado com gramíneas forrageiras tropicais, para que não haja competição prejudicial ao milho, corroborando os relatos de outros autores (Crusciol et al., 2009; Longhini et al., 2017; Veronezi et al., 2018).

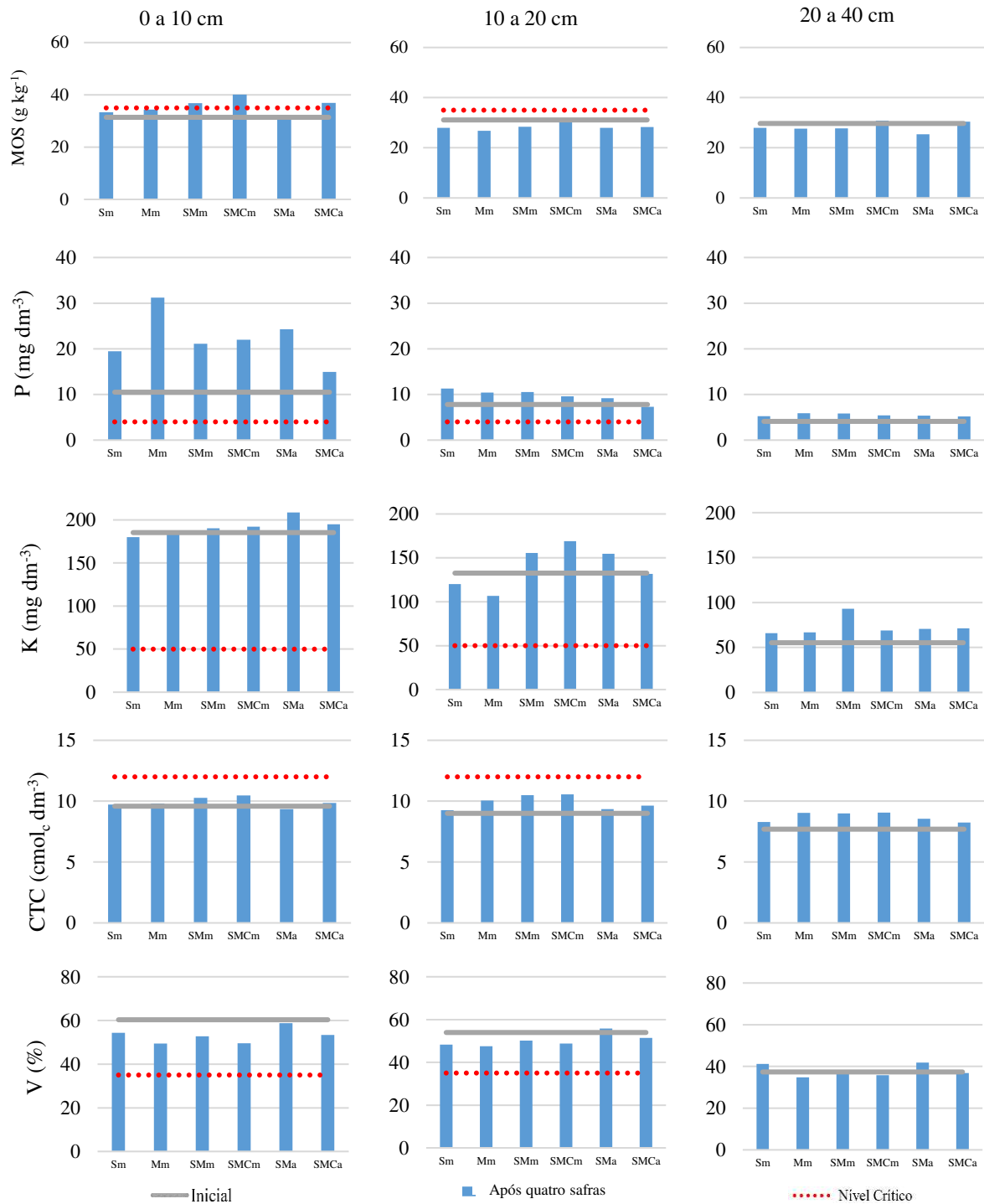


Figura 2. Atributos do solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Valores médios após o condicionamento inicial (2014) e valores depois de quatro safras (2018) em resposta à intensificação de sistemas de produção de grãos sob sequeiro, na região Central de Minas Gerais. Sete Lagoas – MG, 2019. Níveis críticos de acordo com Sousa e Lobato (2004).

Sm - soja monocultura com médio investimento em adubação de manutenção; Mm - milho monocultura em médio investimento; SMm - sucessão anual de soja e milho em médio investimento; SMBm - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em médio investimento; SMa - sucessão de soja e milho em alto investimento; SMBa - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em alto investimento.

Os benefícios atribuídos à presença da braquiária em sistemas de produção de grãos são frequentemente relacionados à sua contribuição para um maior aporte de resíduos vegetais e cobertura do solo na semeadura direta. Esse efeito é notório quando se observa os dados de palhada presente por ocasião da semeadura e de produção de biomassa após a colheita dos grãos, nos diferentes sistemas que compuseram o experimento (Tabela 6).

No ano de estabelecimento da semeadura direta na área experimental (2015/16), a palhada formada a partir do primeiro cultivo já denotava o incremento devido à inserção da braquiária (Tabela 6), seja em consórcio com o milho (SMBm em 2014/15) ou em sobresemeadura na soja (SMBa em 2014/15). A contribuição dos resíduos gerados pela braquiária refletiu também na somatória de quatro safras da biomassa quantificada imediatamente depois de colhidos os grãos, no aporte médio anual de biomassa na colheita e na palhada ao final de 2018.

Obviamente, situações extremas são representadas pelas monoculturas de soja (Sm) e de milho (Mm), que foram os tratamentos associados às menores e maiores adições de restos culturais, respectivamente (Tabela 6). Cabe lembrar que a monocultura de milho, apesar de deixar grande quantidade de resíduos, não favorece a qualidade do solo devido à alta relação C/N de sua palhada, comparativamente a um sistema com maior diversificação de culturas envolvendo gramíneas e leguminosas (Sá et al., 2010). Já a monocultura de soja mostra-se pouco sustentável por produzir menor quantidade de palhada e com decomposição muito rápida devido à baixa relação C/N, ocasionando falta de proteção do solo e perda de nutrientes e matéria orgânica por erosão (Da Costa et al., 2013).

Portanto, o ideal é a rotação de várias espécies gramíneas e leguminosas no sistema de semeadura direta (SSD). Ao minimizar o revolvimento, o SSD reduz a taxa de decomposição, promovendo o acúmulo de restos culturais sobre o solo. A presença de leguminosas exerce importante papel com sua biomassa enriquecendo de N o sistema. Tal condição é necessária para que possa haver aumento dos estoques de carbono total e de nitrogênio total, componentes da maior relevância para a fertilidade e o potencial produtivo do solo (Lovato et al., 2004).

De acordo com Sá et al. (2010), ao produzir resíduos vegetais com distintas relações C/N, a rotação de culturas proporciona fluxos diferenciados de carbono e nitrogênio, e é essa variação que maximiza o acúmulo de MOS, pois há uma sobreposição de camadas diversificadas de resíduos, protegidas por aqueles de maior relação C/N. Ainda segundo esses autores, sistemas de produção capazes de produzir grande quantidade de resíduos de

diferentes relações C/N podem recuperar os teores originais de MOS em um período de tempo relativamente curto.

Valores de aporte médio anual de resíduos próximos de 8 t ha^{-1} na colheita (Tabela 6) indicam que o milho em monocultivo (Mm) e a sucessão soja/milho com inclusão da braquiária (SMBm e SMBa) proporcionaram melhor cobertura no solo. Os tratamentos com braquiária ainda produziram alguma biomassa adicional pelo crescimento que ocorre com as últimas chuvas de um ano agrícola e as que antecedem a semeadura da safra seguinte. Entretanto, seria desejável que sistemas de produção de grãos no cerrado central de Minas Gerais deixassem quantidades maiores de resíduos sobre o solo. Com referência a esse aspecto, a literatura registra que são necessários aportes anuais ao redor de 12 t ha^{-1} de biomassa seca para manter a sustentabilidade do SSD em lavouras no Norte do Mato Grosso (Sá et al., 2015) e 10 t ha^{-1} nas condições do Rio Grande do Sul (Bayer et al., 2019).

A avaliação de palhada na última amostragem à época da semeadura, ao final de 2018, mostrou que a quantidade não é cumulativa com o tempo (Tabela 6). Foi determinada basicamente pelos restos culturais da safra antecessora, ou seja, apresentando maiores valores após cultivo de milho e nos sistemas consorciados com braquiária. Assim, constata-se que a degradação de palhada foi bastante acentuada no presente estudo, condizente com as características climáticas da Região Central de Minas Gerais.

Não obstante, a tendência de acúmulo de MOS após quatro safras em alguns dos tratamentos, na camada de 0-10 cm de profundidade (Figura 2), é um indicativo de que algo em torno de 8 t ha^{-1} de resíduos gerados na colheita seria uma meta mínima para esta região. Na falta de dados conclusivos, esse valor pode constituir uma referência regional preliminar, um limite crítico tendo em vista prevenir a degradação da qualidade do solo e a perda de sustentabilidade nos sistemas de sucessão de culturas em semeadura direta.

Nesse contexto, o SSD com braquiária produz grande quantidade de cobertura vegetal com alta relação C/N, se comparado a sistemas sem o capim, formando uma camada mais espessa de restos culturais sobre o solo, capaz de protegê-lo dos efeitos do clima (Loss et al., 2011). Mas ainda é um desafio para os produtores dessa região de Minas Gerais conciliar quantidade e qualidade, a fim de obter uma palhada diversificada, constituída de material em diferentes estágios de decomposição. Tal condição é desejável, dentre outros aspectos, por proporcionar ambiente mais favorável ao desenvolvimento da microbiota do solo e melhorar o desenvolvimento radicular das culturas (Loss et al., 2011; Collier et al., 2016; Gonçalves et al., 2019).

Após quatro anos de condução do experimento, as análises de solo não apresentaram resultados contrastantes que pudessem ser claramente atribuídos aos efeitos dos diferentes sistemas de produção estabelecidos (Figura 2). Possivelmente, os valores encontrados ainda refletem a correção inicial da fertilidade do solo. De modo geral, após quatro colheitas, todos os tratamentos apresentam condições de fertilidade do solo que podem ser interpretadas como adequadas, de acordo com Sousa e Lobato (2004).

No caso do P, devido à sua baixa mobilidade e destacado efeito residual no solo, a localização da amostragem pode provocar grande diferença de concentração na análise em função dos locais de deposição de fertilizantes nos cultivos anteriores, de maneira que os teores encontrados normalmente apresentam alta variabilidade (Carvalho et al., 2002; Silveira & Stone, 2002; Resende, 2011). O fato de a última amostragem realizada no experimento ter envolvido a coleta de parte das amostras simples nas linhas de adubação explica os teores variáveis entre tratamentos e bem mais altos do que o observado inicialmente na camada de 0-10 cm (Figura 2).

Dentre os benefícios da inclusão da braquiária em sistemas de produção de grãos tem-se destacado a ciclagem de nutrientes, por exemplo, pela absorção do K de camadas mais profundas do perfil e posterior liberação durante a decomposição dos resíduos da parte aérea (Cavalli e Lange, 2018). Relata-se, também, aumento da MOS em profundidade, decorrente do desenvolvimento abundante de raízes e do processo de renovação do sistema radicular (Crusciol e Soratto, 2010). Todavia, no presente estudo ainda não foi possível detectar, de forma consistente, efeitos dos sistemas com braquiária sobre a disponibilidade de K, os teores de MOS ou a CTC (Figura 2). Tudo indica ser necessário um maior período de tempo de adoção de tais sistemas, para que possam exibir mudanças sensíveis nos níveis de atributos químicos da fertilidade do solo.

O experimento transcorreu com a expressão de fenômenos climáticos característicos da Região Central de Minas Gerais, que foram os períodos de restrição hídrica (Figura 1) com elevadas temperaturas durante a safra. Esses fatores resultam em maior instabilidade nos cultivos de sequeiro e certamente influenciaram para que não fossem alcançados tetos produtivos de acordo com o potencial genético das cultivares. Conseqüentemente, mesmo nos sistemas com maior investimento tecnológico, as colheitas foram limitadas (Tabelas 5 e 7), assim como a exportação de nutrientes nos grãos. Possivelmente, a baixa remoção de nutrientes acabou contribuindo para prolongar os efeitos do condicionamento inicial da fertilidade do solo (Figura 2).

As condições favoráveis ao desenvolvimento de plantas num ambiente de fertilidade construída, especialmente em se tratando de solos mais argilosos e tamponados, podem justificar a ausência de respostas pronunciadas das culturas nos primeiros anos de condução de sistemas com diferentes níveis ou modalidades de intensificação (Mendes et al., 2017). O próprio SSD normalmente não expressa suas virtudes de forma imediata. Até o quinto ano, encontra-se ainda em fase inicial de estabelecimento para, somente depois de consolidado, após o décimo ano, prover benefícios plenos em atributos físico-químicos do solo, no desempenho das culturas e na eficiência do processo produtivo (Sá et al., 2010). Tendo em conta tais fatos, é recomendável a condução do presente experimento por mais longo prazo, para que resultados observados até a quarta safra sejam confirmados e se obtenham indicações consistentes das melhores estratégias de intensificação adaptadas à Região Central de Minas Gerais.

4 – CONCLUSÕES

Os sistemas de produção de soja e de milho em monocultura confirmam que há perda de potencial produtivo no decorrer do tempo, em comparação ao seu cultivo alternado em sucessão anual.

O maior investimento em adubação de manutenção não proporciona aumento na produção de grãos acumulada até a quarta safra.

Sob menor investimento em adubação, principalmente na insuficiência de nitrogênio, o consórcio com braquiária prejudica a produtividade do milho.

Com a inserção da braquiária, o aporte médio de resíduos para formação de palhada no sistema de sucessão anual soja/milho aumenta, aproximando-se de 8 t ha⁻¹ ano⁻¹.

Após quatro safras, ainda são pouco evidentes diferenças nos atributos químicos do solo devido à intensificação de sistemas de produção de grãos.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n3p280-292> .

ANDRADE, C. A. O. D.; BORGHI, E.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; CAMARGO, F. P. D.; AVANZI, J. C., SIMON, J.; SILVA, R. R.; FIDELIS, R. R. Straw production and agronomic performance of soybean intercropped with forage species in no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 10, p. 861-868, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2017001000005> .

BAYER, C.; DIECKNOW, J.; CONCEIÇÃO, P.C.; SANTOS, J. C. F. Sistema de manejo conservacionista e qualidade de solos, com ênfase na matéria orgânica. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e Conservação do Solo e da Água**. Vol. 1. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 2019. p. 315 – 343.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, p. 11, 2014.

BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A. O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 949-956, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2001000700004> .

BORGHI, E.; MOBRICCI, C.; PULZ, A. L.; ONO, E. O.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento de *Brachiaria brizantha* em cultivo consorciado com milho em sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 1, p. 91-98, 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303026572013>. Acesso em: 05 de janeiro de 2020.

BORGHI, E.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; CAMARGO, F. P.; SILVA, R. R. da; AVANZI, J. C.; ANDRADE, C. A. O. de; FIDELIS, R. R.; GUARDA, V. D. A.; SIMON, J.; CAMPOS, L. J. M.; CUNHA, M. K.; LIMA, A. de O.; BARBOSA, R. P. P.; ROCHA, P. H. F.; CONCEIÇÃO, W. S. S. da; FERREIRA JUNIOR, O. J.; SILVA, F. H.; SOUZA, O. R. de; PEREIRA, M. H. M.; SOUZA, J. P. de. Sobressemeadura de capins na soja para sistemas de Integração Lavoura-Pecuária. Embrapa Pesca e Aquicultura-Documents (INFOTECA-E), 2017. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1074864>. Acesso em 23 de janeiro 2020.

CARVALHO, J. R. P.; DA SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa**

Agropecuária Brasileira, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000800013> .

CAVALLI, E.; LANGE, A. Efeito residual do potássio no sistema de cultivo soja-milho safrinha no Cerrado Mato-Grossense. **Cultura Agronômica: Revista de Ciências Agronômicas**, v. 27, n. 2, p. 310-326, 2018. Disponível em: <http://ojs.unesp.br/index.php/rculturaagronomica/article/view/2446/1899>. Acesso em: 05 de janeiro de 2020.

CECAGNO, D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; KUNRATH, T.R.; MARTINS, A.P.; REICHERT, J.M.; GUBIANI, P.I.; BALERINI, F.; FINK, J.R.; CARVALHO, P.C.F. Least limiting water range and soybean yield in a long-term, no-till, integrated croplivestock system under different grazing intensities. **Soil Tillage Res.**, v.156, p.54-62, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.10.005> .

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. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000100021> .

COLLIER, L. S.; MARANHÃO, D. D. C.; ARRUDA, E. M. Manejo da Matéria Orgânica do Solo na Região de Cerrado. In: FLORES, R. A.; DA CUNHA, P. P. **Práticas de Manejo do Solo para Adequada Nutrição de Plantas no Cerrado**. Goiânia, UFG, 2016. p: 191-224.

MIGUEL, A. S. D. C. S.; PACHECO, L. P.; CARVALHO, Í. C. D.; SOUZA, E. D. D.; FEITOSA, P. B.; PETTER, F. A. Fitomassa e liberação de nutrientes em sistemas de cultivo de soja sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 10, p. 1119-1131, 2018. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018001000005>.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P. Sistemas de produção e eficiência agronômica de fertilizantes. In: Prochnow, L. I.; Casarin, V.; Stipp, S. R. **Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes**. Vol. 1. IPNI, 2010. p 229 – 276.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; BORGHI, E.; MATEUS, G. P. Integração lavoura-pecuária: benefícios das gramíneas perenes nos sistemas de produção. **Informações Agronômicas**, n. 125, p. 2-15, 2009.

DA COSTA, E. M.; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p. 1848. 2013. <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/13212> .

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. **Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2007.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

FERREIRA, D.F.; FILHO, A.C.; LÚCIO, A.D. Procedimentos estatísticos em planejamentos experimentais com restrição na casualização. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. v.37, n.3, p.16-19. 2012.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 9:893-901, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000600007> .

GONÇALVES, V. A.; MELO, C. A. D.; DE ASSIS, I. R.; FERREIRA, L. R.; SARAIVA, D. T. Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 62, 2019. <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2019.2611> .

LANGE, A.; DE CARVALHO, J. L. N.; DAMIN, V.; CRUZ, J. C.; MARQUES, J. J. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p.460-467, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000200016> .

LONGHINI, V. Z.; ANDREOTTI, M.; DE SOUZA, W. C. R.; COSTA, N. R.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; MONTANARI, R. Nitrogen fertilization and inoculation with diazotrophic bacteria in corn intercropped with xaraés grass. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 12, n. 3, p. 340-347, 2017. DOI:10.5039/agraria.v12i3a5462.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G., PERIN, A., ANJOS, L.H.C. Aggregation, carbon and nitrogen in soil aggregates under no-tillage with crop-livestock integration.

Pesquisa Agropecuária Brasileira. 46, 1269–1276. 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000022> .

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Campinas. v. 28, n. 1 (2004), p. 175-187, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000100017>.

MENDES, I. C; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; KAPPES, C.; ONO, F. B.; SEMLER, T. D.; ZANCANARO, L.; LOPES, A. A. C. **Qualidade biológica do solo:** por que e como avaliar. Rondonópolis: Fundação MT, 2017. p. 98-105. (Boletim de Pesquisa da Fundação MT, v. 1)

MORAES, M. F.; DA SILVA, J. G.; GOMES, M. B.; PRADO, M. R. V.; DE ALMEIDA, J. P. M.; FELETTI, R. C. G. Nutrição e adubação da soja na região do Cerrado. In: FLORES, R. A.; DA CUNHA, P. P.; MARCHÃO, R. L.; MORAES, M. F. **Nutrição e adubação de grandes culturas na região do Cerrado**, Goiânia: Gráfica UFG, 2019. p. 369-418.

MOREIRA, A. M. J. A.; STONE, L. F.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Eficiência de uso de água pela cultura do milho (*Zea mays*) em função da cobertura do solo pela palhada no sistema plantio direto. **Cadernos de Agroecologia**, Fortaleza, v. 6, n. 2, p. 1-3, 2011. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/918276> . Acesso em: 05 de janeiro de 2020.

MURGA-ORRILLO, H. I. P. Ó. L. I. T. O., ARAUJO, W. F., RODRIGUEZ, C. A., LOZANO, R. M. B., SAKAZAKI, R. T., & VARGAS, A. R. P. Influência da cobertura morta na evapotranspiração, coeficiente de cultivo e eficiência de uso de água do milho cultivado em cerrado. **Irriga**, v. 21, n. 2, p. 352, 2018. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n2p352-364>

PEIXOTO, D.S.; SILVA, B.M.; SILVA, S.H.G.; KARLEN, D.L.; MOREIRA, S.G.; SILVA, A.A.P.; RESENDE, A.V.; NORTON, L.D.; CURI, N. Diagnosing, ameliorating, and monitoring soil compaction in no-till brazilian soils. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 2, n. 1, 2019. <https://doi.org/10.2134/age2018.09.0035> .

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa**

Agropecuária Brasileira, v. 40, n. 2, p. 137-144, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005000200006> .

PORTES, T. D. A.; CARVALHO, S. I. C. D.; OLIVEIRA, I. P. D.; KLUTHCOUSKI, J. Análise do crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1349-1358, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000700009> .

RESENDE, A.V. Reflexões sobre adubação fosfatada a taxa variável. **Revista Plantio Direto**, v.20, n.123, p.15-18, 2011.

RESENDE, A.V.; GONTIJO NETO, M.M.; BORGHI, E.; SIMÃO, E.P.; MARTINS, D.C.; SANTOS, F.C.; COELHO, A.M. Nutrição e adubação do milho na região do Cerrado. In: FLORES, R.A.; CUNHA, P.P.; MARCHÃO, R.L.; MORAES, M.F. (Ed.). **Nutrição e adubação de grandes culturas na região do Cerrado**. Goiânia: UFG, 2019. p.463-502.

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**, v. 38, n. 4, p. 269-275, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/3424/4252> . Acesso em: 23 de janeiro de 2020.

SÁ, J. C. M.; SÉGUY, L.; SÁ, M. F. M.; FERREIRA, A. DE O.; BRIEDIS, C.; DOS SANTOS, J. B.; CANALLI, L. Gestão da Matéria Orgânica e da Fertilidade do Solo Visando Sistemas Sustentáveis de produção. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes**. Vol. 1. IPNI, 2010. p 383 – 420.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; PIRES, J.; LAMPERT, E. A.; VARGAS, A. M.; VERDI, A. C. Grain yield and agronomic traits in soybean according to crop rotation systems. *Bragantia*, Campinas, v. 73, n. 3, p.263-273, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0136>.

SILVA , F.C. da. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.

SILVEIRA, P. D.; STONE, L. F. Profundidade de amostragem do solo sob plantio direto para avaliação de características químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000100016> .

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

VERONEZI, S. D. F.; RIBEIRO, L. M.; CECCON, G. Uso de *Azospirillum brasilense* em milho safrinha solteiro e consorciado com *Brachiaria ruziziensis*. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 4, p. 349-360, 2018. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2018v12n4p349-360> .

WIESMEIER, M.; URBANSKI, L.; HOBLEY, E.; LANG, B.; VON LÜTZOW, M.; MARIN-SPIOTTA, E.; VAN WESEMAEL, B.; RABOT, E.; LIEß, M.; GARCIA-FRANCO, N.; WOLLSCHLÄGER, U.; VOGEL, H.-J.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil organic carbon storage as a key function of soils - A review of drivers and indicators at various scales. **Geoderma** 333, 149–162. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.026>.

CAPÍTULO 2

SUSTENTABILIDADE DA INTENSIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE SOJA E MILHO NO CERRADO CENTRAL DE MINAS GERAIS

RESUMO

SIMÃO, Eduardo de Paula, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2020. **Sustentabilidade da intensificação de sistemas de produção de soja e milho no Cerrado central de Minas Gerais.** Orientador: João Carlos Cardoso Galvão. Coorientador: Álvaro Vilela de Resende

A intensificação de sistemas de produção de grãos é uma tendência que vem se consolidando nos principais polos agrícolas do Brasil e pode melhorar os índices de desempenho da agricultura em regiões com menor tradição ou aptidão ao cultivo. Objetivou-se com este trabalho aferir indicadores de rentabilidade, de eficiência no uso de nutrientes e água, e de sustentabilidade de sistemas intensificados de produção de grãos na Região Central de Minas Gerais. Os sistemas estudados consistiram em seis opções em semeadura direta sob sequeiro, incluindo monocultivos de soja e de milho com médio investimento em adubação de manutenção, além dos cultivos dessas espécies em sucessão anual, com médio ou alto investimento em adubação, e inserção ou não da braquiária (*Urochloa ruziziensis*) para produção de palhada. A partir de dados das quatro primeiras safras, foram contabilizados a produção acumulada, o custo operacional efetivo e o valor de venda dos grãos para análise econômica. Foram estimados o balanço e a eficiência de uso de nutrientes, bem como a eficiência de uso da chuva na produção de grãos e de palhada. Por fim, avaliou-se a influência dos sistemas de produção na ocorrência de podridão de espigas do milho e na infestação por plantas daninhas. Comparativamente à monocultura de soja, as opções de cultivo alternado com o milho em sucessão anual proporcionam maior retorno econômico e maior eficiência no uso de nutrientes e da chuva. A monocultura de milho apresenta desempenho favorável quanto à rentabilidade e eficiência de uso de nutrientes e da chuva, mas mostra-se vulnerável ao expressar maior incidência de podridão branca da espiga. Devido principalmente às reservas de nutrientes previamente constituídas no solo, os sistemas com maior investimento em adubação de manutenção não refletem em incremento proporcional na produção acumulada de grãos, levando à perda de eficiência de uso de N, P e K. A diversificação pela inclusão da braquiária em sistemas de sucessão anual soja/milho reduz a produção e a rentabilidade quando a competição da braquiária é prejudicial no consórcio com o milho, mas possibilita melhor aproveitamento de nutrientes e água para a formação de palhada, além de favorecer a supressão de plantas daninhas. O período de acompanhamento por quatro safras é insuficiente para evidenciar plenamente os benefícios da intensificação de sistemas de produção de grãos em semeadura direta nas condições da Região Central de Minas Gerais.

Palavras chaves: Intensificação ecológica. Diversificação de culturas. Semeadura direta. Braquiária. Eficiência de uso de nutrientes. Eficiência de uso da chuva.

ABSTRACT

SIMÃO, Eduardo de Paula, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March 2020. **Sustainability of the intensification of soybean and corn production systems in the Cerrado of central Minas Gerais state.** Advisor: João Carlos Cardoso Galvão. Co-advisor: Álvaro Vilela de Resende

Intensification of grain production systems is a trend in the main agricultural area of Brazil and may improve performance in regions with less tradition or suitability for farming. This study aimed at determining the profitability and efficiency of using nutrients and water, as well as the sustainability of intensified grain production systems in the central region of Minas Gerais state. The systems studied consisted of six non-till options under dryland farming, including soybean and corn monocultures with medium fertilizer investment and insertion or not of Congo grass (*Urochloa ruziziensis*) for straw production. The data of the first four growing seasons were used to determine accumulated production, effective operational cost and the sales value of grains for economic analysis. The balance and efficiency of nutrient use were estimated, as well as the effectiveness of using rainwater in grain and straw production. Finally, the influence of production systems on the occurrence of corn ear rot and weed infestation was evaluated. When compared to soybean monoculture, succession farming with corn provided a higher economic return and more efficient use of nutrients and rainwater. The corn monoculture exhibited good profitability and efficient use of nutrients and rainwater, but was prone to higher rates of white ear rot. Due primarily to previous nutrients in the soil, systems with higher investment in maintenance fertilizer did not display a proportional rise in accumulated grain production, leading to loss of efficiency in the use of N, P and K. Diversification by including Congo grass in annual soybean/corn succession systems reduced production and profitability when Congo grass competition compromised intercropping with corn, but allowed better use of nutrients and water for the formation of straw, in addition to favoring weed suppression. The four growing season follow-up was insufficient to fully confirm the benefits of intensifying grain production systems in no-till systems under the conditions of the central region of Minas Gerais.

Keywords: Ecological intensification. Crop diversification. No-till. Congo grass. Nutrient use efficiency. Rainwater use efficiency.

1 – INTRODUÇÃO

A base para o sucesso de qualquer exploração agrícola está diretamente ligada à eficiência no uso dos recursos de produção (Fixen, 2010). A adoção de novas tecnologias e princípios na produção de soja e milho em regiões com menor tradição agrícola é fundamental para viabilizar a atividade, exigindo cada vez mais conhecimento técnico, econômico e gerencial para garantir sua sustentabilidade (Artuzo et al., 2018).

O manejo nutricional das culturas é um dos principais gargalos na agricultura. A adubação representa uma fração muito expressiva dos custos de produção e a eficiência no uso dos fertilizantes é fortemente ligada ao manejo do sistema de produção, sendo influenciada por esquemas de rotação/sucessão de culturas, adubação verde, práticas conservacionistas, entre outras (Crusciol & Soratto, 2010). O manejo inadequado da adubação pode resultar em baixa eficiência de uso dos fertilizantes, já que nem sempre o desempenho produtivo é limitado pela disponibilidade de nutrientes no solo (Benites et al., 2010).

Segundo Lacerda et al. (2015), o milho é mais responsivo à adubação se comparando à soja, porém, a elevação nas doses aplicadas de fertilizantes pode promover desperdício de nutrientes quando não há correspondente ganho no rendimento de grãos, ou quando outros fatores passam a limitar o potencial produtivo. Na falta de resposta a maiores doses de nutrientes, estes não são totalmente aproveitados pelas culturas, ficando sujeitos a perdas, principalmente no caso daqueles com maior facilidade de movimentação no solo (Werle et al., 2008).

O manejo cultural pode ser uma estratégia para melhorar a eficiência de uso da água e dos nutrientes. A manutenção da cobertura de solo proporcionada pelo sistema de semeadura direta (SSD) reduz os efeitos dos veranicos durante as safras, influenciando também na nutrição das plantas. Sistemas de cultivo que produzem grande quantidade de palhada tendem a melhorar a conservação da água no solo, reduzindo o escoamento superficial de água da chuva e sua evaporação. Além disso, um ambiente favorável para a exploração radicular aumenta a capacidade das culturas buscarem água e nutrientes nas camadas mais profundas do perfil, tornando-as mais tolerantes a períodos com menor disponibilidade hídrica no solo (Franchini et al., 2009).

A competição promovida por plantas invasoras afeta o desempenho produtivo da cultura principal (Pitelli, 2000) e pode elevar o custo de produção. A comunidade de plantas daninhas é influenciada pelo manejo cultural e fortemente correlacionada com a taxa de cobertura do solo por palhada (Leite et al., 2016). Nesse sentido, combinações de cultivos

utilizando espécies com grande capacidade de produção de biomassa residual podem compor estratégias eficientes de controle integrado da infestação de plantas invasoras, contribuindo para maior sustentabilidade agrícola.

A maior ou menor propensão à ocorrência de pragas e doenças ao longo do tempo também dá ideia da sustentabilidade de diferentes sistemas de produção. Provocada pelos fungos *Stenocarpella maydis* e *S. macrospora* (Warwick e Pinto 2006), a podridão branca da espiga do milho tem sido uma das causas de declínio da produtividade e da qualidade dos grãos, promovendo má formação e desenvolvimento de micotoxinas (Pinto, 2001). A exemplo do que ocorre no caso da podridão branca da espiga, a diversificação de culturas pode minimizar a propagação de patógenos para os cultivos subsequentes (Casa et al., 2006), favorecendo maior estabilidade de produção ao longo do tempo.

No contexto transdisciplinar inerente ao manejo de lavouras, o retorno econômico, a eficiência no uso de insumos e a conformidade do processo produtivo compõem aspectos a serem levantados para se demonstrar a viabilidade de alternativas tecnológicas e respaldar a proposição de sistemas de produção de grãos adaptados regionalmente. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo aferir indicadores de rentabilidade, de eficiência no uso de nutrientes e água, e de sustentabilidade de sistemas intensificados de produção de grãos na Região Central de Minas Gerais.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em condições de sequeiro na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo (latitude 19° 28' 36" S, longitude 44° 11' 53" W, e altitude 732 m), em Sete Lagoas – MG, nas safras 2014/15 a 2018/19. O clima da região é classificado, segundo Köppen (1948), tipo Cwa (com inverno seco e verão quente), com temperatura média anual de 21,8 °C e precipitação média anual de 1.345 mm. O solo, classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico muito argiloso (660 g kg⁻¹ de argila), já vinha sendo utilizado há mais de 30 anos com preparo convencional e, nos anos que antecederam o presente trabalho, os cultivos envolveram milho ou soja em semeadura direta, com pousio na entressafra.

Para o condicionamento inicial do solo, antecedendo a primeira safra, toda a área experimental recebeu práticas de escarificação a cerca de 25 cm de profundidade e aplicação de calcário dolomítico (4,0 t ha⁻¹) incorporado com arado de aiveca e grade aradora. Em seguida, foram aplicados gesso agrícola (3,0 t ha⁻¹), superfosfato simples (1 t ha⁻¹), cloreto de potássio (300 kg ha⁻¹) e FTE (90 kg ha⁻¹), incorporados com grade niveladora a 10 cm de

profundidade. Esses procedimentos visaram à correção da acidez e construção da fertilidade no perfil do solo, para então se reiniciar o manejo em semeadura direta. Tais operações foram definidas com base nas indicações de manejo propostas por Sousa e Lobato (2004) para solos de Cerrado.

A área total do experimento possui cerca de quatro hectares, com declive uniforme, e foi dividida em seis faixas em nível para acomodar os tratamentos de intensificação de sistemas de produção. Essa intensificação envolveu diversificação de espécies e dois níveis de investimento em adubação de manutenção das culturas (Tabela 1). Os tratamentos foram assim constituídos: Sistema 1 – Soja monocultura com médio investimento em adubação (Sm); Sistema 2 – Milho monocultura em médio investimento (Mm); Sistema 3 – Sucessão anual de soja e milho em médio investimento (SMm); Sistema 4 – Sucessão de soja e milho com inserção da braquiária (*Urochloa ruziziensis* nas quatro primeiras safras e *Urochloa brizantha* cv BRS Piatã na quinta safra) para incremento de palhada, em médio investimento (SMBm); Sistema 5 – Sucessão de soja e milho em alto investimento (SMA); e Sistema 6 – Sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em alto investimento (SMBa).

Tabela 1. Sequência de cultivos em diferentes sistemas de produção de grãos, data de semeadura e precipitação pluviométrica durante as respectivas safras, no período de 2014/15 a 2018/19, na Região Central de Minas Gerais.

Safra	Sistema de produção						Data de semeadura	Precipitação (mm)
	Sm	Mm	SMm	SMBm	SMA	SMBa		
2014/15	Soja	Milho	Milho	Milho	Soja	Soja	03/12/2014	974
2015/16	Soja	Milho	Soja	Soja	Milho	Milho	25/11/2015	790
2016/17	Soja	Milho	Milho	Milho	Soja	Soja	02/12/2016	589
2017/18	Soja	Milho	Soja	Soja	Milho	Milho	06/12/2017	911
2018/19	Soja	Milho	Milho	Milho	Soja	Soja	07/11/2018	1.008

Sm - soja monocultura com médio investimento em adubação de manutenção; Mm - milho monocultura em médio investimento; SMm - sucessão anual de soja e milho em médio investimento; SMBm - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em médio investimento; SMA - sucessão de soja e milho em alto investimento; SMBa - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em alto investimento.

Safra 2014/15: soja cultivar BRS 7380 RR e milho cultivar AS 1581 PRO. Safra 2015/16: soja BRS 8081 RR e milho AG 8088 PRO2. Safra 2016/17: soja RK 5813 RR e milho AG 8088 PRO2. Safra 2017/18: soja RK 6813 RR e milho AG 8088 PRO2. Safra 2018/19: soja RK 5813 RR e milho AG 8088 PRO2.

Precipitação acumulada, registrada no período compreendido entre sete dias antes da semeadura até a maturação fisiológica, estimada em 115 dias após a semeadura das cultivares de soja e de milho em cada safra.

Os cultivos foram conduzidos com espaçamento de 0,5 m entre linhas para a soja e 0,7 m no caso do milho. Nos sistemas com inserção da braquiária, as sementes da braquiária foram distribuídas junto ao adubo no sulco de semeadura do milho e a lanço na fase

reprodutiva da soja (estádio fenológico > R5.5). A exceção foi o tratamento SMBa na safra 2018/19, em que a braquiária foi semeada após a colheita da soja, em linhas espaçadas de 0,5 m, utilizando uma semeadora de plantio direto.

Os sistemas envolvendo médio investimento corresponderam ao manejo nutricional representativo do padrão utilizado regionalmente, enquanto os sistemas de alto investimento receberam maior aporte de fertilizantes na adubação NPK de manutenção e aplicações foliares com macro e/ou micronutrientes, além de uma aplicação adicional de fungicida para controle de doenças da soja. Sob alto investimento, também foi feita reaplicação de calcário dolomítico em superfície (3,3 t ha⁻¹), precedendo a safra 2016/17.

O manejo fitossanitário foi realizado conforme critérios agrônômicos aplicáveis a cada sistema de produção. As pulverizações de herbicidas e fungicidas realizadas em cada safra encontram-se listadas no Anexo 1. O controle de insetos praga foi padronizado para a soja ou para o milho, quando pertinente, independentemente do sistema de produção.

O experimento procurou reproduzir ambientes de lavouras comerciais, requerendo parcelas de grandes dimensões para melhor expressão do efeito de diferentes condições derivadas dos sistemas/tratamentos. Isso exigiu o uso de maquinário de grande porte, impondo limitações que não permitiram a utilização de delineamento experimental clássico, com repetições estatísticas verdadeiras. Assim, os dados de avaliações dos cultivos foram obtidos como pseudorrepetições (Ferreira et al., 2012; Cecagno et al., 2016; Peixoto et al., 2019), por meio de amostras independentes em dez pontos aleatórios, previamente georreferenciados dentro da área destinada a cada sistema.

As avaliações de produtividade de grãos foram realizadas após a maturação fisiológica, com a colheita manual de três linhas de três metros de comprimento nas imediações de cada ponto georreferenciado, corrigindo-se a umidade para 13%. Na sequência, a soja e o milho remanescentes no experimento foram colhidos com colhedora automotriz. A produção acumulada foi determinada pela somatória de produtividade das quatro primeiras safras. Os dados de rendimento de grãos da quinta safra (2018/2019) não foram incluídos nos resultados, pois levariam a um desbalanceamento no número de cultivos com soja e com milho nos sistemas que envolveram sucessão anual dessas culturas (Tabela 1), o que prejudicaria as comparações entre tratamentos.

Para estimativa do custo operacional efetivo (COE) de produção (Tabela 2), adaptou-se o modelo empregado pelo Instituto para Fortalecimento da Agropecuária de Goiás (IFAG, 2020). Na composição dos gastos, foram registradas as quantidades de insumos, operações mecanizadas e mão de obra utilizadas ao longo das quatro primeiras safras, nos respectivos

tratamentos/sistemas. Os custos individualizados dos insumos foram obtidos a partir dos indicadores disponibilizados pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da ESALQ (CEPEA, 2020), adotando-se o preço médio do mês de novembro de cada ano. Para estimativa da receita bruta derivada da produção acumulada até a quarta safra, consideraram-se as cotações de venda dos grãos de soja e de milho registradas para o mês de abril subsequente às safras, conforme o relatório agrícola do CEPEA (2020). As cotações da soja foram de 69,53; 78,04; 65,82; e 85,53 reais (R\$) por saca de 60 kg, enquanto as de milho foram de 27,61; 48,92; 28,32; e 39,92 reais, nas safras 2014/15, 2015/16, 2016/17 e 2017/18, respectivamente. A receita líquida foi calculada pela diferença entre a receita bruta e o COE. Portanto, não foram incluídos custos fixos, depreciação e custo de oportunidade.

Foram estimados balanços parciais de N, P₂O₅ e K₂O nos sistemas, para o período 2014/15 a 2017/18, dados pela diferença de entradas e saídas desses nutrientes. Como entradas foram consideradas as respectivas quantidades em aplicações via fertilizantes nas adubações de manutenção e, no caso da soja, o aporte de 250 kg ha⁻¹ de N por cultivo via fixação biológica em simbiose com rizóbio (Alves et al., 2006). As saídas foram representadas pela remoção de nutrientes nos grãos colhidos, determinadas com base em taxas de exportação de 54,0; 11,0; e 22,0 kg de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, por tonelada de grãos de soja (Embrapa, 2013; Oliveira Junior, 2019) e 13,5; 4,8; e 3,7 kg de N, P₂O₅ e K₂O no caso do milho (Duarte et., 2019).

De posse dos dados de produção acumulada de grãos, de produção de palhada representada pela biomassa acumulada da parte aérea das culturas e da braquiária em avaliações nas colheitas, e das quantidades totais de N, P₂O₅ e K₂O aplicadas nas adubações de manutenção das safras 2014/15 a 2017/18, calcularam-se índices de eficiência de uso de nutrientes (EUN), de acordo com a equação a seguir (Stewart, 2007):

$$EUN_{\text{grãos ou palhada}} (\text{kg kg}^{-1}) = \frac{\text{Produção acumulada de grãos ou de palhada (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Quantidade de nutriente aplicada (kg ha}^{-1}\text{)}}$$

Para estimativa da eficiência de uso da chuva (EUC), assumiu-se que a maturação fisiológica das cultivares de soja e de milho ocorreu por volta dos 115 dias após a semeadura, para então se determinar a precipitação no período desde sete dias antes do semeio até a maturação em cada safra. Índices médios de EUC nos diferentes sistemas de produção foram obtidos pela razão entre a produção acumulada de grãos ou de palhada e a somatória de precipitação pluviométrica nas safras 2014/15 a 2017/18, em cálculo análogo ao utilizado por Perazzo et al. (2013), de acordo com a fórmula:

$$\text{EUC}_{\text{grãos ou palhada}} (\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}) = \frac{\text{Produção acumulada de grãos ou de palhada} (\text{kg ha}^{-1})}{\text{Quantidade acumulada de chuva} (\text{mm})}$$

Dividindo-se a receita líquida acumulada das quatro safras, em cada sistema de produção, pela correspondente quantidade total de N-PO₅-K₂O aportada e pela precipitação pluviométrica acumulada nos cultivos, foram obtidos, respectivamente, os valores de receita líquida média auferidos por kg de nutriente e por mm de chuva.

Em decorrência de contrastes visíveis no momento da colheita manual, nas safras 2017/18 e 2018/19, foi feita a contagem de espigas de milho com sintomas de podridão branca causada pelos fungos *Stenocarpella maydis* e *S. macrospora* (Warwick e Pinto 2006), calculando-se a sua percentagem em relação ao número total de espigas nas respectivas áreas amostrais, de acordo com protocolo utilizado por Sangoi et al. (2000). Os dados dessa avaliação foram submetidos à análise de variância com auxílio do programa Sisvar (Ferreira, 2011), considerando um delineamento inteiramente casualizado e dez unidades amostrais independentes dentro de cada tratamento como repetições (pseudorrepetições). Na comparação de médias, empregou-se o teste LSD a 5% de probabilidade.

Na segunda quinzena do mês de maio de 2019, posteriormente à quinta safra, foi realizado um levantamento fitossociológico visando avaliar a influência do histórico dos diferentes sistemas sobre a comunidade de plantas daninhas, por meio de amostragem em 1,0 m² nos pontos georreferenciados. As espécies de plantas daninhas foram identificadas e contadas, coletando-se a parte aérea para determinação de massa seca. Nos tratamentos pertinentes, foi quantificada também a produção de massa seca pela braquiária. Foram calculados índices de valor de importância, conforme proposto por Mueller-Dombois e Ellenberg (1974), representando a diversidade de espécies daninhas em cada sistema e o quanto cada uma predomina naquela condição em relação às demais.

As avaliações de ocorrência de podridão branca da espiga de milho e de fitossociologia de plantas daninhas foram agregadas ao presente estudo por fornecerem indicativos de sustentabilidade diferencial entre tratamentos, expressos com o avançar do tempo de condução por safras seguidas, de modalidades de intensificação do sistema de produção.

Tabela 2. Componentes do custo de produção e sua participação percentual no custo operacional efetivo acumulado de quatro safras, em diferentes sistemas de produção de grãos na Região Central de Minas Gerais.

Componente de custo	Sistema de produção											
	Sm		Mm		SMm		SMBm		SMa		SMBa	
	(R\$ ha ⁻¹)	(%)	(R\$ ha ⁻¹)	(%)	(R\$ ha ⁻¹)	(%)	(R\$ ha ⁻¹)	(%)	(R\$ ha ⁻¹)	(%)	(R\$ ha ⁻¹)	(%)
Calcário e gesso	805,56	8,3	805,56	6,9	805,56	7,1	805,56	6,8	1.145,46	9,5	1.145,46	9,5
Adubo correção	2.671,80	27,5	2.671,80	22,8	2.671,80	23,6	2.671,80	22,4	2.671,80	22,2	2.671,80	22,1
Sementes	939,30	9,7	1.760,58	15,0	1.372,60	12,1	1.956,80	16,4	1.327,28	11,0	2.020,03	16,7
Trat. semente	345,06	3,6	324,26	2,8	334,26	3,0	334,26	2,8	335,06	2,8	335,06	2,8
Adubo manutenção	1.694,58	17,5	3.081,40	26,2	2.746,87	24,3	2.763,67	23,2	2.923,65	24,3	2.923,65	24,2
Herbicidas	597,72	6,2	1.032,34	8,8	607,64	5,4	765,30	6,4	1.120,82	9,3	438,77	3,6
Inseticidas	98,05	1,0	96,55	0,8	124,20	1,1	124,20	1,0	70,40	0,6	70,40	0,6
Fungicidas	242,93	2,5	0,00	0,0	153,97	1,4	153,97	1,3	104,07	0,9	148,47	1,2
Mecanização	1.564,11	16,1	1.418,14	12,1	1.775,86	15,7	1.583,13	13,3	1.603,51	13,3	1.611,40	13,3
Colheita	84,92	0,9	84,92	0,7	84,92	0,8	84,92	0,7	84,92	0,7	84,92	0,7
Mão de obra	657,60	6,8	465,60	4,0	633,60	5,6	665,60	5,6	657,60	5,5	633,60	5,2
Total	9.701,64	100	11.741,16	100	11.311,28	100	11.909,21	100	12.044,57	100	12.083,55	100

Sm - soja monocultura com médio investimento em adubação de manutenção; Mm - milho monocultura em médio investimento; SMm - sucessão anual de soja e milho em médio investimento; SMBm - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em médio investimento; SMa - sucessão de soja e milho em alto investimento; SMBa - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em alto investimento.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A participação percentual de cada componente do custo operacional efetivo (COE) acumulado no período de quatro safras apresentou alguma variação de acordo com o sistema de produção considerado (Tabela 2). Somados, os gastos com calcário, gesso e fertilizantes utilizados em adubações corretivas na etapa de condicionamento inicial do solo tiveram maior peso, representando de 29,2 a 35,8% do COE conforme o sistema. Embora elevados, esses valores ainda ficaram abaixo da proporção de 41,7% estimada por Lobato e Sousa (2004) para o gasto com esses insumos na abertura de área de cerrado para exploração agrícola em sequeiro.

Na sequência, os fertilizantes utilizados nas adubações de manutenção representaram o segundo maior item de dispêndio dos sistemas (Tabela 2). O menor gasto ocorreu na monocultura de soja e o maior na monocultura de milho, devido, sobretudo, à demanda de adubação nitrogenada neste último. Os custos relativos às sementes foram crescentes à medida que, além da soja, os sistemas envolveram o milho e também a braquiária.

Os custos apresentados na Tabela 2 foram influenciados não só pelas quantidades, mas também pelo tipo de insumos (ex: princípio ativo de herbicidas e inseticidas) demandados nos diferentes sistemas em cada safra, além de os preços de aquisição estarem sujeitos a oscilações de um ano para outro. Da mesma forma, as cotações de mercado para o valor de venda dos grãos de soja e de milho modificaram-se ao longo do período de estudo. Portanto, as estimativas de rentabilidade dos sistemas (Tabela 3) foram reflexos dessas nuances e representam a conjuntura que é vivenciada na prática pelos produtores de grãos.

A menor margem de retorno financeiro foi observada no monocultivo de soja (Sm), embora este tenha apresentado o mais baixo COE (Tabela 3), e mesmo sendo melhor a remuneração pela saca de soja em relação à de milho. A perda de potencial produtivo da monocultura em comparação aos sistemas mais diversificados, a partir do terceiro cultivo (vide Capítulo 1), levou a uma menor produção acumulada de grãos e consequente impacto negativo na rentabilidade. O cultivo recorrente de soja na área por quatro safras resultou numa produtividade média anual de 2.468 kg ha⁻¹, inferior à média de 3.259 kg ha⁻¹ registrada para o estado de Minas Gerais no mesmo período (CONAB, 2019).

O reduzido volume de palhada produzido pela soja e sua rápida degradação acabam por proporcionar pouca cobertura do solo, com consequências negativas, inclusive no tocante ao aproveitamento da água das chuvas pelas plantas. O sistema de semeadura direta com baixo aporte de biomassa propicia alterações inexpressivas quanto à melhoria da qualidade do

solo, restringindo o desempenho das culturas. As vantagens potenciais do sistema de semeadura direta (SSD) são dependentes da quantidade e qualidade da biomassa de resíduos produzida e, sobretudo, do seu efeito sobre o teor de matéria orgânica do solo (Bayer et al., 2019).

No caso do milho, a monocultura também acarretou perda de produtividade em relação aos sistemas diversificados (vide Capítulo 1), porém, a conjunção com elevada cotação de venda dos grãos favoreceu a rentabilidade nas safras menos produtivas, de modo que o retorno econômico global desse tratamento foi superior ao alcançado nos demais sistemas de produção (Tabela 3). Apesar de a monocultura de milho não cumprir o preceito da rotação de culturas, fundamental para a sustentabilidade agrícola, manteve razoável produtividade média de grãos nas quatro safras, 9.018 kg ha⁻¹, superior à correspondente média estadual de 6.087 kg ha⁻¹ (CONAB, 2019).

A boa produtividade e o bom rendimento econômico do monocultivo de milho (Tabela 3) demonstra que o médio investimento em adubação de manutenção não foi tão limitante, levando a crer que outros fatores contribuíram para a perda de produtividade das monoculturas de milho e de soja ao longo das quatro safras (vide Capítulo 1). O condicionamento da fertilidade antes da implantação dos sistemas certamente favoreceu a manutenção da capacidade produtiva do solo nessas safras iniciais, ao propiciar boa disponibilidade de P e K. Vale lembrar que, comparativamente à soja, a quantidade de resíduos remanescentes após a colheita de grãos do milho forma um volume de palhada maior e mais resistente à decomposição, oferecendo melhores condições de proteção ao solo e conservação de umidade. Assim, o fator palhada pode ter sido decisivo ao pior resultado verificado para a soja em monocultivo.

Dentre os tratamentos com cultivos de soja e milho em sucessão anual, o menor e maior valores absolutos de produção acumulada foram constatados para os sistemas SMBm e SMm, respectivamente (Tabela 3), reforçando a percepção de que as diferenças nos níveis médio e alto investimento em adubação de manutenção, por si só, não foram condicionantes das variações de produção até a quarta safra. Não obstante, a combinação de “anos safra/cultura estabelecida/produtividade obtida/preço de insumos/cotação dos grãos” fez com que os sistemas diversificados em alto investimento (SMa e SMBa) proporcionassem maior receita líquida que os correspondentes em médio investimento (SMm e SMBm).

Tabela 3. Produção acumulada em quatro safras (2014/15 a 2017/18), custo operacional efetivo (COE) acumulado, receita bruta acumulada, receita líquida acumulada e receita anual média de diferentes sistemas de produção de grãos, na Região Central de Minas Gerais.

Sistema de produção	Produção acumulada	COE acumulado	Receita bruta acumulada	Receita líquida acumulada	Receita líquida anual
	(kg ha ⁻¹)	----- (R\$ ha ⁻¹) -----			
Sm	9.874	9.701,64	12.400,44	2.698,80	674,70
Mm	36.073	11.741,16	21.369,25	9.628,09	2.407,02
SMm	26.464	11.311,28	18.007,06	6.695,78	1.673,95
SMBm	24.383	11.909,21	17.008,41	5.099,19	1.274,80
SMa	25.469	12.044,56	20.323,99	8.279,43	2.069,86
SMBa	26.207	12.083,55	21.571,55	9.488,00	2.372,00

Sm - soja monocultura com médio investimento em adubação de manutenção; Mm - milho monocultura em médio investimento; SMm - sucessão anual de soja e milho em médio investimento; SMBm - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em médio investimento; SMa - sucessão de soja e milho em alto investimento; SMBa - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em alto investimento.

Não considerados os custos fixos, depreciação e custo de oportunidade.

As cotações da soja foram de 69,53; 78,04; 65,82; e 85,53 reais (R\$) por saca de 60 kg, enquanto as de milho foram de 27,61; 48,92; 28,32; e 39,92 reais, nas safras 2014/15, 2015/16, 2016/17 e 2017/18, respectivamente (CEPEA, 2020).

Em geral, o suprimento de N, P e K não foi limitante, pois as estimativas de balanço após quatro safras evidenciaram que as entradas desses nutrientes nos sistemas foram superiores às saídas pela exportação nos grãos colhidos, exceto no balanço de N para o milho monocultura (Tabela 4). Os saldos positivos contribuiriam para manter ou elevar ainda mais as reservas disponíveis no solo (Resende et al., 2019). Situações de ausência de resposta ao fornecimento de nutrientes em lavouras com longo histórico de adubação têm se tornado frequentes. Avaliando níveis de NPK numa sequência soja/milho/soja em solo de fertilidade construída na região de Unaí-MG, Lacerda et al. (2015) observaram que a alta disponibilidade inicial de nutrientes mascarou os efeitos das adubações de manutenção, resultando em produtividades similares às do controle sem aplicação de fertilizante.

Os menores valores de produção acumulada e de rentabilidade do sistema SMBm (Tabela 3) se deveram, em parte, à perda de produtividade do milho em consórcio com braquiária na safra 2016/17, quando também houve coincidência de um veranico no florescimento da cultura (vide Capítulo 1). Além de restrições à produtividade, o sistema SMBm teve elevação adicional de custos relativos à aquisição de sementes da braquiária.

Crusciol et al. (2009) justificaram que, na consorciação com gramíneas forrageiras tropicais, há competição entre as espécies principalmente por N. Dessa forma, a grande exigência do milho faz com que a produtividade de grãos seja limitada à disponibilidade desse nutriente. Este talvez seja o caso do presente estudo, considerando que o fornecimento de 96

kg ha⁻¹ de N, nas condições da safra 2016/17, possa ter sido insuficiente para atender o consórcio. Assim também, o balanço de N mais favorável no sistema com alto investimento em adubação – SMBa (Tabela 4) teria sido determinante para a ausência de efeitos depressivos da braquiária nesse tratamento (Tabela 3).

Tabela 4. Balanço parcial de nutrientes, estimado após quatro safras (2014/15 a 2017/18), em sistemas de produção de grãos na Região Central de Minas Gerais.

Sistema de produção	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
	Entradas	Saídas	Saldo	Entradas	Saídas	Saldo	Entradas	Saídas	Saldo
Sm	1058	534	524	301	108	193	237	216	21
Mm	387	488	-101	328	173	155	195	132	63
SMm	723	613	110	345	166	179	235	212	23
SMBm	723	583	140	345	156	189	235	204	31
SMa	855	564	291	381	156	225	263	193	70
SMBa	855	579	276	381	160	221	263	198	65

Sm - soja monocultura com médio investimento em adubação de manutenção; Mm - milho monocultura em médio investimento; SMm – sucessão anual de soja e milho em médio investimento; SMBm - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em médio investimento; SMA - sucessão de soja e milho em alto investimento; SMBa - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em alto investimento.

Incluindo entrada de 250 kg ha⁻¹ de N providos pela fixação biológica em cada cultivo de soja.

Resende et al. (2008) avaliaram diferentes densidades de braquiária em consórcio com milho submetido a dois níveis de adubação NPK na região de Planaltina-DF, durante as safras de 2004/05 (ano chuvoso) e 2005/06 (ano seco), e concluíram que o fornecimento de nutrientes em doses mais elevadas pode amenizar eventuais perdas de produtividade de grãos, decorrentes de elevada competição no consórcio ou de condições hídricas desfavoráveis.

O balanço parcial de N na monocultura de milho refletiu em déficit após as quatro safras, visto que a remoção do nutriente por exportação nas colheitas superou as adições via adubação nitrogenada. No tocante aos demais tratamentos, o suprimento associado à fixação biológica de N na soja gerou saldos positivos. O balanço também revelou excedentes de K e, sobretudo de P, para todos os sistemas. O maior investimento em adubação teve impacto direto no quantitativo de nutrientes residuais dos cultivos (Tabela 4).

Verifica-se que a ausência de incrementos de produtividade, proporcionais às quantidades de nutrientes fornecidas, implicou em menores índices de eficiência no uso de N, P₂O₅ e K₂O nos sistemas sob alto investimento (Tabela 5), reforçando a ideia de que, de modo geral, as adubações ficaram acima da demanda real das culturas. Doses crescentes de adubo em solo com fertilidade construída podem não resultar em ganhos expressivos de rendimento de grãos pelas culturas do milho e da soja (Lacerda et al., 2015). De fato, quando a fertilidade

atual atende os requerimentos das culturas, outros fatores passam a ser causas limitantes da produtividade e a eficiência de uso de nutrientes diminui com aplicações adicionais de fertilizantes (Souza Junior et al., 2019).

A capacidade de produção de biomassa e de grãos característica da soja, sendo em magnitude inferior à do milho, fez com que o cultivo da leguminosa por quatro safras seguidas (Sm) acarretasse na menor eficiência média no uso de nutrientes (EMUN), tanto para a produção de grãos quanto de palhada (Tabela 5). Situação oposta ocorreu no caso da monocultura de milho (Mm). Nos tratamentos com maior diversificação de espécies (SMBm e SMBa), a inclusão da braquiária promoveu incremento na eficiência média de uso dos nutrientes para a produção de palhada, mas não para a produção de grãos, sobre a qual transpareceu efeito prejudicial.

Coincidentemente, as mesmas tendências descritas para a EMUN são válidas para a eficiência de uso da chuva (Tabela 5). Deve-se observar, entretanto, que nos cálculos da EMUN os aportes totais de nutrientes mudam conforme o sistema de produção, enquanto que na estimativa da eficiência de uso da chuva tem-se um único dado de precipitação fixo para todos os sistemas. É notório como as diferentes modalidades de exploração agrícola podem resultar em índices muito distintos de aproveitamento da oferta local de chuva para a produção de grãos ou biomassa.

Ao avaliar o desempenho dos sistemas de produção sob a ótica da receita líquida média auferida por unidade de nutriente na adubação (RLMUN), verifica-se que a monocultura de milho em médio investimento (Mm) proporcionou melhor retorno para o uso de fertilizantes, seguida pelo sistema mais intensificado em alto investimento (SMBa). Já ao considerar a receita líquida média por mm de chuva (RLMC), as duas modalidades praticamente se equipararam (Tabela 5).

Portanto, no decorrer das quatro primeiras safras, a monocultura de milho seria financeira e operacionalmente mais atrativa ao produtor, não fosse a problemática da perda de estabilidade produtiva da lavoura com o tempo, conforme sinalizaram os resultados apresentados no Capítulo 1. O pior retorno financeiro ocorreu na soja em monocultivo (Tabela 5), devido, em parte, à combinação desfavorável de características de cultivares, época de semeadura e período de ocorrência de veranicos. Ou seja, o posicionamento de cultivares de soja na região ainda pode ser aprimorado, melhorando os índices de eficiência dos sistemas nos quais a leguminosa esteja inserida.

Tabela 5. Produção acumulada (PRODAC) de grãos e de palhada nas colheitas de 2014/15 a 2017/18, aporte total de N-P₂O₅-K₂O nas adubações de manutenção, eficiência de uso de N, P₂O₅ e K₂O para a produção de grãos, eficiência média por unidade de nutriente (EMUN) na produção de grãos e de palhada, receita líquida média por unidade de nutriente aplicada (RLMUN), eficiência de uso da chuva na produção de grãos e de palhada, e receita líquida média por mm de chuva (RLMC) em sistemas de produção de grãos na Região Central de Minas Gerais.

Sistema	PRODAC		Aporte total N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Eficiência de uso			EMUN		RLMUN	Eficiência da chuva		RLMC
	Grãos	Palhada		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Grãos	Palhada		Grãos	Palhada	
	----- kg ha ⁻¹ -----			----- kg kg ⁻¹ -----					R\$ kg ⁻¹	--- kg mm ⁻¹ ---		R\$ ha ⁻¹ mm ⁻¹
Sm	9.874	10.879	58-301-237	170	33	42	16,6	18,3	4,53	3,0	3,3	0,83
Mm	36.073	33.178	387-328-195	93	110	185	39,6	36,5	10,53	11,0	10,2	2,95
SMm	26.464	25.725	223-345-235	119	77	113	33,0	32,0	8,34	8,1	7,9	2,05
SMBm	24.383	32.177	223-345-235	109	71	104	30,4	40,1	6,35	7,5	9,9	1,56
SMA	26.207	23.488	355-381-263	74	69	100	26,2	23,5	8,29	8,0	7,2	2,54
SMBa	25.469	28.791	355-381-263	72	67	97	25,5	28,8	9,50	7,8	8,8	2,91

Sm - soja monocultura com médio investimento em adubação de manutenção; Mm - milho monocultura em médio investimento; SMm – sucessão anual de soja e milho em médio investimento; SMBm - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em médio investimento; SMA - sucessão de soja e milho em alto investimento; SMBa - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em alto investimento.

Precipitação acumulada durante os períodos de cultivo nas quatro safras: 3.264 mm.

A condução das distintas opções de sistema de cultivo de grãos acarretou mudanças nos padrões de outras variáveis além da produtividade e rentabilidade econômica, com destaque para a incidência de podridão branca de espigas no milho (Tabela 6) e a infestação por plantas daninhas nas áreas (Tabela 7). Embora essas variáveis secundárias ainda não tenham impactado fortemente nas quatro primeiras safras, é válido apresentá-las, pois trata-se de indicadores de sustentabilidade que influenciam e, provavelmente, ajudarão a explicar o desempenho futuro dos diferentes sistemas.

A podridão branca provoca perda de peso e dá origem aos chamados grãos ardidos. É causada pelos fungos *Stenocarpella maydis* e *S. macrospora*, sendo os restos culturais a mais importante fonte de inóculo da doença (Warwick e Pinto 2006). Na Tabela 6 constam os resultados da avaliação de sanidade de espigas de milho nas safras 2017/18 e 2018/19. Nota-se que, nas duas safras, a proporção de espigas com podridão branca foi mais elevada na condição de monocultura, comparativamente aos sistemas diversificados, em alto (2017/18) e médio investimento (2018/19).

Tabela 6. Número médio de espigas colhidas nas áreas amostrais e porcentagem de espigas com sintomas visuais de podridão branca em sistemas de produção de grãos em sequeiro, na Região Central de Minas Gerais.

Sistema de produção	Safr 2017/18		Sistema de produção	Safr 2018/19	
	Número de espigas	% com podridão		Número de espigas	% com podridão
Mm	40,6 a	7,1 a	Mm	38,8 a	5,0 a
SMA	42,5 a	0,8 b	SMm	39,1 a	1,0 b
SMBa	39,1 a	0,6 b	SMBm	35,8 b	2,2 b
Sistema	ns	**		*	*
C.V. (%)	9,86	46,07		6,93	102,48

Mm - milho monocultura com médio investimento em adubação de manutenção; SMm - sucessão anual de soja e milho em médio investimento; SMBm - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em médio investimento; SMA - sucessão de soja e milho em alto investimento; SMBa - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em alto investimento.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

* e ** = significativo a 5% e 1% pelo teste F, respectivamente; ns = não significativo. C.V. = coeficiente de variação.

Segundo Mendes et al. (2011), além de determinados híbridos de milho serem mais suscetíveis, safras com chuvas frequentes no final do ciclo e o sistema de cultivo em semeadura direta favorecem o aumento dos fungos causadores da doença. A diversificação/rotação de culturas figura dentre as principais estratégias de controle, por favorecer a decomposição dos restos culturais de tal maneira que o inóculo seja eliminado, ao contrário da monocultura, em que a manutenção da mesma espécie no local propicia a permanência dos patógenos de uma safra para outra (Casa et al., 2006). Portanto, apesar do

bom desempenho nos primeiros anos do experimento, o cultivo recorrente de milho como monocultura provavelmente se tornará mais vulnerável, podendo ficar inviável frente aos sistemas mais diversificados.

Os tratos culturais requeridos no manejo e o tipo de cultura presente em cada sistema de produção interferiram nos aspectos quantitativo (Tabela 7) e qualitativo (Figura 1) da população de plantas daninhas, avaliados após a colheita da quinta safra (2018/2019). O número de indivíduos e a biomassa de plantas daninhas por metro quadrado foram nitidamente menores com a inclusão da braquiária (SMBm e SMBa), cujo crescimento robusto e produção de biomassa de parte aérea promoveram o recobrimento do solo, exercendo dominância sobre a comunidade infestante (Tabela 7).

A fitossociologia das plantas daninhas foi alterada (Figura 1), refletindo efeitos do histórico de cada tratamento. Percebe-se que, quando a braquiária foi semeada junto com o milho na safra 2018/2019 (SMBm), o efeito supressor foi mais acentuado do que quando semeada após a colheita da soja (SMBa), havendo forte diminuição da presença de plantas daninhas (Tabela 7) e da diversidade de espécies identificadas (Figura 1). A baixa capacidade de competição da soja durante o período de maturação e o tempo requerido para que a braquiária subsequente se estabelecesse fizeram com que as plantas daninhas tivessem melhores condições de crescimento e reprodução. Ainda assim, essa alternativa de intensificação promoveu expressivo controle de invasoras.

Tabela 7. Número de plantas daninhas, biomassa de plantas daninhas e produtividade de biomassa seca de braquiária avaliados após a colheita da quinta safra, no mês de maio de 2019, em sistemas de produção de grãos na Região Central de Minas Gerais.

Sistema de produção	Número de plantas daninhas (plantas m ⁻²)	Biomassa de plantas daninhas (g m ⁻²)	Biomassa de braquiária (kg ha ⁻¹)
Sm	26,0 (± 9,8)	151 (±86)	-
Mm	26,8 (±18,6)	187 (±100)	-
SMm	24,4 (±6,4)	210 (±63)	-
SMBm	1,6 (±2,8)	3 (±7)	4789 (±1970)
SMA	18,8 (±7,3)	271 (±89)	-
SMBa	13,6 (±11,7)	64 (±67)	4195 (±1249)

Sm - soja monocultura com médio investimento em adubação de manutenção; Mm - milho monocultura em médio investimento; SMm – sucessão anual de soja e milho em médio investimento (cultivo de milho na safra 2018/2019); SMBm - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em médio investimento (cultivo de milho na safra 2018/2019); SMA - sucessão de soja e milho em alto investimento (cultivo de soja na safra 2018/2019); SMBa - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em alto investimento (cultivo de soja na safra 2018/2019).

Dados entre parêntesis indicam o desvio padrão da média.

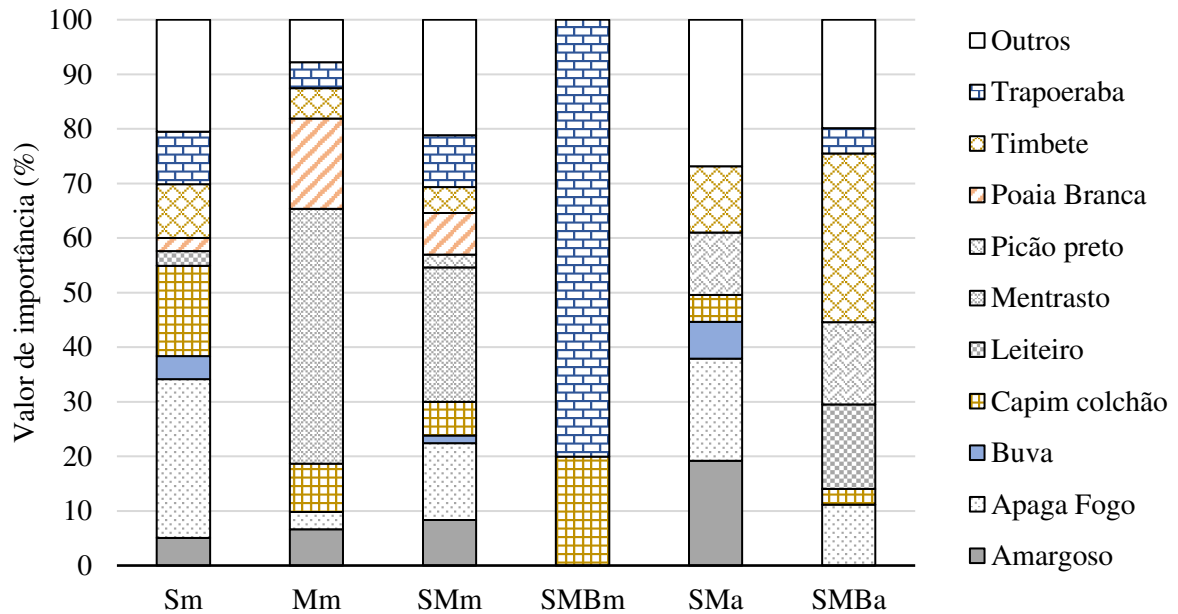


Figura 1. Índice de valor de importância (%) de planta daninhas, avaliadas após a colheita da safra 2018/19. Sm - soja monocultura com médio investimento em adubação de manutenção; Mm - milho monocultura em médio investimento; SMm – sucessão anual de soja e milho em médio investimento (cultivo de milho na safra 2018/2019); SMBm - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em médio investimento (cultivo de milho na safra 2018/2019); SMa - sucessão de soja e milho em alto investimento (cultivo de soja na safra 2018/2019); SMBa - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em alto investimento (cultivo de soja na safra 2018/2019).

Em áreas de produção de soja e milho safrinha vistoriadas no Mato Grosso, Silva et al. (2018) constataram que o capim colchão (*Digitaria horizontalis*) e o capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) predominavam nas lavouras e relataram que há dificuldade de controle, principalmente deste último. Também para o capim amargoso (*Digitaria insularis*), tem havido problemas de eficiência no controle químico, assim como para a buva (*Conyza spp.*), que pode provocar significativas perdas de produtividade em lavouras de soja (Gazziero et al., 2015).

O capim colchão foi encontrado em todos sistemas no presente estudo, porém com maior valor de importância para Sm e SMBm. Já a presença do capim amargoso foi visualizada em todos os tratamentos onde não havia inclusão da braquiária, enquanto a buva teve registro de ocorrência nos sistemas com soja, sem braquiária (Figura 1).

Esses resultados reafirmam a efetiva contribuição da braquiária em estratégias de supressão do amargoso e da buva em áreas de produção de grãos (Marochi et al., 2018). Segundo Severino et al. (2006), no cultivo do milho consorciado com espécies forrageiras, há uma maior produção de biomassa por ambas as culturas, conseqüentemente, diminuindo a disponibilidade de recursos para o desenvolvimento de plantas daninhas. Correia e Gomes

(2015) observaram que a cobertura de solo proporcionada pela braquiária *ruzizensis* em sobresemeadura nos estádios R6 e R8 da soja também reduziu a infestação de plantas daninhas. Avaliando o controle em função de diferentes sistemas de produção de grãos, Castro et al. (2011) concluíram que a infestação é maior em sistema safra/pousio, ressaltando a importância da cobertura do solo durante a entressafra para o controle de espécies invasoras.

Uma análise global dos resultados obtidos até o momento indica a necessidade de avaliações de mais longo prazo para melhor esclarecer os efeitos da diversificação de culturas e do investimento em adubação, como estratégias de intensificação de sistemas de produção de grãos, de acordo com a oferta ambiental na Região Central de Minas Gerais.

Segundo Bayer et al. (2019), no estabelecimento de sistemas com semeadura direta há períodos distintos em que os cultivos se comportam de forma diferenciada. Inicia-se pela fase de transição, com duração de três a cinco anos, em que as culturas não respondem ao manejo adotado, podendo apresentar produtividades inferiores às obtidas em sistema de preparo convencional. Posteriormente, evolui para um período de consolidação, no qual começam a surgir os primeiros efeitos favoráveis do manejo sobre o desempenho das culturas. Por fim, na fase de estabilização, aproximadamente após dez anos, as culturas respondem sensivelmente às alterações ocorridas na qualidade do solo, superando o padrão de sistemas convencionais. Os autores relatam ainda que estas fases são variáveis conforme cada região e os manejos adotados, destacando que efeitos positivos surgem após o aumento do teor de matéria orgânica no solo.

Em média, os fertilizantes das adubações de manutenção representaram praticamente um quarto do custo operacional efetivo dos sistemas de produção estudados (Tabela 2). Aqueles com maior investimento em adubação tiveram baixa resposta das culturas devido às reservas de nutrientes previamente constituídas no condicionamento inicial da fertilidade do solo e, embora tenham deixado saldos residuais mais elevados (Tabela 4), ocasionaram menores índices de eficiência de uso de N, P e K (Tabela 5).

O dimensionamento da adubação de manutenção para mais, baseado numa expectativa de ganho de produtividade da cultura a ser instalada, constitui um risco de desequilíbrio entre oferta e demanda de nutrientes em solos de fertilidade construída, especialmente se outros fatores atuarem restringindo a expressão do potencial genético de produção. Se as culturas não produzirem proporcionalmente mais com o aporte extra de nutrientes, haverá desperdício, pois, a demanda prevista não se confirmou.

Essas circunstâncias parecem ter ocorrido no presente estudo, confirmando a premissa de que, sob condições de fertilidade construída e de interferências climáticas e de outros

fatores que limitam o potencial de resposta ao fornecimento adicional de nutrientes, os ajustes das adubações serão mais coerentes se baseados na reposição das quantidades efetivamente exportadas na última colheita (Resende et al., 2019). De acordo com esses autores, tal estratégia conciliaria a conservação da fertilidade do solo mediante compensações mais frequentes de créditos ou débitos no sistema, mantendo o equilíbrio e otimizando a eficiência de uso de nutrientes, além de favorecer a rentabilidade econômica.

Artuzo et al. (2018) chamaram atenção para a necessidade de se aprimorar conhecimentos sobre o comportamento do mercado de grãos e dos custos variáveis de lavouras de milho e soja, para assim estabelecer um planejamento estratégico na aquisição e emprego de insumos. No caso presente, os sistemas com maior intensificação não alcançaram destacado diferencial de produtividade, mas se viabilizaram economicamente pela conjuntura da sequência de cultivos *versus* cotação dos grãos no período de estudo (Tabela 3). Não obstante, sobretudo a diversificação de culturas e a inclusão da braquiária forneceram indícios de maior estabilidade produtiva e de contribuição para evolução positiva de indicadores de sustentabilidade dos sistemas, tais como o incremento de palhada cobrindo o solo, a maior sanidade de espigas de milho e melhor controle de plantas daninhas.

4 – CONCLUSÕES

Comparativamente à monocultura de soja, as opções de cultivo em sucessão anual com milho proporcionam maior retorno econômico e maior eficiência no uso de nutrientes e da chuva.

A monocultura de milho apresenta desempenho favorável quanto à rentabilidade e eficiência de uso de nutrientes e da chuva, mas mostra-se mais vulnerável ao propiciar maior incidência de podridão branca da espiga.

Devido principalmente às reservas de nutrientes previamente constituídas no solo, os sistemas com maior investimento em adubação de manutenção não refletiram em incremento proporcional na produção acumulada, levando à perda de eficiência de uso de N, P e K.

A diversificação pela inclusão da braquiária em sistemas soja/milho reduz a produção e a rentabilidade quando a competição da braquiária é prejudicial no consórcio com o milho, mas possibilita melhor aproveitamento de nutrientes e água para a formação de palhada, além de favorecer a supressão de plantas daninhas.

O período de acompanhamento por quatro safras é insuficiente para evidenciar plenamente os benefícios da intensificação de sistemas de produção de grãos em semeadura direta nas condições da Região Central de Minas Gerais.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTUZO, F. D., FOGUESATTO, C. R., SOUZA, Â. R. L. D., & SILVA, L. X. D. Gestão de custos na produção de milho e soja. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, v. 20, n. 2, p. 273-294, 2018. <http://dx.doi.org/10.7819/rbgn.v20i2.3192>
- ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L., FERNANDES, F.M.; HECKLER, J.C.; MACEDO, R.A.T.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.41, p.449-456, 2006.
- BAYER, C.; DIECKNOW, J.; CONCEIÇÃO, P.C.; SANTOS, J. C. F. Sistema de manejo conservacionista e qualidade de solos, com ênfase na matéria orgânica. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e Conservação do Solo e da Água**. Vol. 1. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 2019. p. 315 – 343.
- BENITES, V. de M.; POLIDORO, J.C.; RESENDE, A.V. Oportunidades para a inovação tecnológica no setor de fertilizantes no Brasil. **Boletim Informativo da SBCS**, v.35, p.18 21, 2010. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48087/1/Oportunidades-inovacao.pdf> . Acesso em: 23 de janeiro de 2020.
- CASA, R. T.; REIS, E. M.; ZAMBOLIM, L. Doenças do milho causadas por fungos do gênero *Stenocarpella*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 5, p. 427-439, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/fb/v31n5/01.pdf> . Acesso em: 23 de janeiro de 2020.
- CASTRO, G. S. A., CRUSCIOL, C. A. C., NEGRISOLI, E., & PERIM, L. Sistemas de produção de grãos e incidência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 29, n. SPE, p. 1001-1010, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582011000500006>
- CECAGNO, D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; KUNRATH, T.R.; MARTINS, A.P.; REICHERT, J.M.; GUBIANI, P.I.; BALERINI, F.; FINK, J.R.; CARVALHO, P.C.F. Least limiting water range and soybean yield in a long-term, no-till, integrated croplivestock system under different grazing intensities. *Soil Tillage Res.*, v.156, p.54-62, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.10.005>.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/metodologia/metodologia-de-precos-do-milho-esalq-bm-fbovespa.aspx> . Acesso em: 07 de janeiro de 2020.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Série histórica das safras. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20> . Acesso em: 04 de dezembro 2019.

CORREIA, N. M.; GOMES, L. J. P. Sobressemeadura de soja com *Urochloa ruziziensis* e a cultura do milho em rotação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 11, p. 1017-1026, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015001100004>

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P. Sistemas de produção e eficiência agronômica de fertilizantes. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. **Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes**. Vol. 1. IPNI, 2010. p 229 – 276.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; BORGHI, E.; MATEUS, G. P. Integração lavoura-pecuária: benefícios das gramíneas perenes no sistema de produção. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 25, p. 2 – 15, 2009.

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja – Região Central do Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 268p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, n.16).

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.1039-1042, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

FERREIRA, D.F.; FILHO, A.C.; LÚCIO, A.D. Procedimentos estatísticos em planejamentos experimentais com restrição na casualização. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. v.37, n.3, p.16-19. 2012.

FIXEN, P. E. The four rights within a global fertilizer best management practices framework. In: Prochnow, L. I.; Casarin, V.; Stipp, S. R. **Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes**. Vol. 1. IPNI, 2010. p 1 – 22.

FRANCHINI, J. C., DEBIASI, H., SACOMAN, A., NEPOMUCENO, A. L., & FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. Disponível em:

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Documentos314_000gdx39fhn02wx5ok0ylax2lz2wb9ud.pdf .

IFAG - Instituto para Fortalecimento da Agropecuária de Goiás. Disponível em: <http://ifag.org.br/custos-de-producao.html> . Acesso em: 07 de janeiro 2020.

GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; KARAM, D.; VARGAS, L.; VOLL, E. Controle de buva em pós emergência da cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 7.; MERCOSOJA, 2015, Florianópolis. **Tecnologia e mercado global: perspectivas para soja: anais.** Londrina: Embrapa Soja, 2015. 1 CD-ROM.

LACERDA, J. J. J, DE RESENDE, Á. V., NETO, A. E. F., HICKMANN, C., & DA CONCEIÇÃO, O. P. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 769-778, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015000900005> .

LEITE, E. M., MAKINO, P. A., KROLIKOWSKI, V., DOS SANTOS, A. L. F., & CECCON, G. Parâmetros fitossociológicos de plantas daninhas em milho solteiro e no consórcio milho-braquiária. In: **Embrapa Agropecuária Oeste-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves. Milho e sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar: anais. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016. 4 p., 2016.

LOBATO, E; SOUSA, D.M.G. de. Fertilidade do solo e máxima eficiência produtiva. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação.** 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p. 257- 282.

MAROCHI, A.; FERREIRA, A.; TAKANO, H. K.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; OVEJERO, R. F. L. Managing glyphosate-resistant weeds with cover crop associated with herbicide rotation and mixture. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 4, p. 381-394, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542018424017918>

MENDES, M. C.; VON PINHO, R. G.; MACHADO, J. D. C.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FALQUETE, J. C. F. Qualidade sanitária de grãos de milho com e sem inoculação a campo dos fungos causadores de podridões de espiga. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 5, p. 931-939, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000500010> .

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. Wiley, 1974.

OLIVEIRA JUNIOR, A. Potássio: um urgente problema do manejo nutricional das culturas. In: **Reunião de pesquisa de soja**, 37. Londrina, 2019. Palestras. Disponível em: <https://www.rps2019.com.br/programacao/palestras> . Acesso em: 26 agosto de 2019.

PEIXOTO, D.S.; SILVA, B.M.; SILVA, S.H.G.; KARLEN, D.L.; MOREIRA, S.G.; SILVA, A.A.P.; RESENDE, A.V.; NORTON, L.D.; CURI, N. Diagnosing, ameliorating, and monitoring soil compaction in no-till brazilian soils. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, v. 2, n. 1, 2019. <https://doi.org/10.2134/age2018.09.0035>.

PERAZZO, A. F., SANTOS, E. M., PINHO, R. M. A., CAMPOS, F. S., DE FARIAS RAMOS, J. P., DE AQUINO, M. M. Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Ciência Rural**, v. 43, n. 10, p. 1771-1776, 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33128114007>

PINTO, N.F.J.A. **Qualidade sanitária de grãos de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 4p. (Comunicado Técnico, 30).

RESENDE, A. V.; BORGHI, E.; GONTIJO NETO, M. M.; FONTOURA, S. M. V.; BORIN, A. L. D. C.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; CARVALHO, M. C. S.; KAPPES, C. Balanço de nutrientes e manejo da adubação em solos de fertilidade construída. In: SEVERIANO, E. C.; MORAES, M. F.; PAULA, A. M. **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Volume X. 2019. p. 342 – 398.

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**, v. 38, n. 4, p. 269-275, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/3424/4252> . Acesso em: 23 de janeiro de 2020.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F.; BOGO, A.; KOTHE, D.M. Incidência e severidade de doenças de quatro híbridos de milho cultivados com diferentes densidades de plantas. **Ciência Rural**, v. 30, n. 1, p. 17-21, 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782000000100003>. Acesso em: 31 de janeiro de 2020.

SEVERINO, F. J.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Interferências mútuas entre a cultura do milho, espécies forrageiras e plantas daninhas em um sistema de consórcio. II – Implicações sobre as espécies forrageiras. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 45-52, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/pd/v24n1/a07v24n1.pdf> . Acesso em: 23 de janeiro de 2020.

SILVA, A. F. da; IKEDA, F. S.; OLIVEIRA, I. R. de; GUIMARAES, L. J. M.; PIMENTEL, M. A. G.; PITTA, R. M.; TRINDADE, R. dos S.; MENDES, S. M. Nota técnica sobre Circuito Tecnológico Milho 2018: panorama do milho safrinha no Estado de Mato Grosso - safra 2017/2018. 2018. p.1- 9. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/186037/1/Circuito-Tecnologico-Milho-2018.pdf> . Acesso em: 23 de janeiro de 2020.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

SOUZA JUNIOR, J. P.; FLORES, R. A.; CAMPOS, C. N. S.; CORREIA, M. A. R.; FRAZÃO, J. J.; PRADO, R. M.; TEIXEIRA, W. G.; BRASIL, E. P. F.; OLIVEIRA JUNIOR, J. P.; MARCHÃO, R. L. A sustentabilidade agrícola na região do Cerrado. In: FLORES, R. A.; DA CUNHA, P. P.; MARCHÃO, R. L.; MORAES, M. F. **Nutrição e Adubação de Grandes Culturas na Região do Cerrado**. Goiânia-GO. p.17-36. 2019.

STEWART, W. M. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. **Informaciones Agronómicas**, v. 67, p. 1-7, 2007. Disponível em: [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/40ad1eee26c802f005257a5300510c6d/\\$FILE/ATTCNQIX.pdf/Consideraciones%20en%20el%20uso%20eficiente%20de%20nutrientes.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/40ad1eee26c802f005257a5300510c6d/$FILE/ATTCNQIX.pdf/Consideraciones%20en%20el%20uso%20eficiente%20de%20nutrientes.pdf) . Acesso em: 07 de janeiro 2020.

WARWICK, D. R. N.; PINTO, N. F. J. de A. **Podridão branca da espiga do Milho**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/26150/1/f-19.pdf> . Acesso em: 23 de janeiro de 2020.

WERLE, R.; GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2297-2305, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000600009>.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os monocultivos de soja e de milho tendem a reduzir o seu potencial produtivo no decorrer do tempo, comparativamente aos cultivos alternados.

Os sistemas com maior investimento em adubação de manutenção não refletem em incremento proporcional na produção acumulada de quatro safras, devido principalmente às reservas de nutrientes previamente constituídas no solo, levando à perda de eficiência de uso de N, P e K.

A diversificação pela inclusão da braquiária em sistemas soja/milho reduz a produção e a rentabilidade quando a competição do capim é prejudicial no consórcio com o milho, mas possibilita melhor aproveitamento de nutrientes e água para a formação de palhada, além de favorecer a supressão de plantas daninhas.

O período de acompanhamento por quatro safras é insuficiente para evidenciar plenamente os benefícios da intensificação de sistemas de produção de grãos nas condições da Região Central de Minas Gerais.

APÊNDICE A – Aplicações de herbicidas e fungicidas conforme os tratamentos/sistemas, nas safras 2014/15 a 2018/19

Safra	Data	Tratos culturais	Sistema					
			Sm	Mm	SMm	SMBm	SMA	SMBa
2014/15	28/11/2014	Dessecação pré-plantio: herbicidas Roundup WG [®] e Aurora [®]	X	X	X	X	X	X
	05/01/2015	Herbicidas no milho (V8): Atrazina, Soberan [®]		X	X	X		
	09/01/2015	Fungicida na soja: Ópera [®]	X				X	X
	09/01/2015	Herbicida na soja: Roundup WG [®]	X				X	
	02/02/2015	Fungicida na soja: Fox [®]					X	X
	01/06/2015	Dessecação pós-colheita: herbicidas Roundup [®] e Aurora [®]	X				X	
2015/16	05/11/2015	Dessecação pré-plantio: herbicidas Roundup WG [®] e Aurora [®]				X		X
	24/11/2015	Dessecação pré-plantio: herbicidas Roundup WG [®] e Aurora [®]	X	X	X		X	
	11/12/2015	Herbicidas pós-emergentes no milho: Atrazina e Sanson [®]		X			X	
	11/12/2015	Herbicida pós-emergente no milho: Atrazina						X
	17/12/2015	Herbicidas pós-emergentes na soja: Roundup WG [®]	X		X	X		
	24/02/2016	Fungicida na soja: Priori Xtra [®]	X		X	X		
2016/17	16/11/2016	Dessecação pré-plantio: herbicidas Roundup WG [®] e 2.4. D	X	X	X	X	X	X
	02/01/2017	Herbicida pós-emergente na soja: Roundup [®]	X				X	X
	11/01/2017	Herbicida pós-emergente no milho: Roundup [®]		X	X			
	11/01/2017	Herbicida pós-emergente no milho: Sanson [®]				X		
	23/01/2017	Fungicida na soja: Priori Xtra [®]	X				X	X

Continua...

Continuação...

Safr	Data	Tratos culturais	Sistema					
			Sm	Mm	SMm	SMBm	SMA	SMBa
2017/18	16/11/2017	Dessecação pré-plantio: herbicidas Aurora [®] e Roundup WG [®]				X	X	X
	29/11/2017	Dessecação pré-plantio: herbicidas Gramoxone [®]				X		
	29/11/2017	Dessecação pré-plantio: herbicidas Aurora [®] e Roundup WG [®]	X	X	X			
	18/12/2017	Herbicida pós-emergente no milho: Atrazina					X	X
	20/12/2017	Herbicida pós-emergente no milho: Roundup [®]					X	
	04/01/2018	Herbicida pós-emergente na soja: Roundup WG [®]	X		X	X		
	26/01/2018	Fungicida na soja: Priori Xtra [®]	X		X	X		
	08/02/2018	Fungicida na soja: Ópera [®]	X		X	X		
	21/02/2018	Herbicida pós-emergente na soja: Roundup WG				X		
	08/03/2018	Fungicida na soja: Priori Xtra [®]	X		X	X		
	19/04/2018	Dessecação pós-colheita: herbicidas Roundup WG [®] e 2.4D	X		X			
2018/19	01/11/2018	Dessecação pré-plantio: herbicida Roundup WG [®]	X	X	X	X	X	X
	05/12/2018	Fungicida na soja: Ópera [®]	X				X	X
	12/12/2018	Fungicida na soja: Aproach [®]					X	X
	12/03/2019	Dessecação pré-colheita da soja: Herbicida Gramoxone [®]	X				X	X

Inseticidas utilizados no controle de insetos praga da soja ou do milho, quando pertinente e seguindo critérios agrônômicos: Belt[®], Xentari[®], Lorsban[®], Tracer[®], Engeo Pleno[®], Talisman[®] e Nomolt[®].

* Sm - soja monocultura com médio investimento em adubação de manutenção; Mm - milho monocultura em médio investimento; SMm – sucessão de soja e milho em médio investimento; SMBm - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em médio investimento; SMA - sucessão de soja e milho em alto investimento; SMBa - sucessão de soja e milho, com inserção da braquiária, em alto investimento.