



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgef>



Alterações nos atributos químicos do solo em função dos sistemas de produção agrícola no cerrado goiano

Lázaro Henrique de Assis Cabral¹, Guilherme Verdicchio Pompermayer², Milla Stefane dos Santos Alves³, Tiara Moraes Guimarães⁴, Claudio Hideo Martins da Costa⁵

¹ Graduado em Agronomia pela Universidade Federal de Jataí (UFJ). CEP 75801-615, Jataí (GO), Brasil, lazimcabral96@gmail.com. Orcid ID: 0009-0004-0463-7719. ² Mestre em Agronomia pela Universidade Federal de Jataí (UFJ). CEP 75801-615, Jataí (GO), Brasil, gvpompermayer2@gmail.com. Orcid ID: 0009-0009-0471-3503. ³ Mestre em Agronomia pela Universidade Federal de Jataí (UFJ). CEP 75801-615, Jataí (GO), Brasil, millastefs@gmail.com. Orcid ID: 0009-0005-4543-4640. ⁴ Pós Doutora na Universidade Federal de Jataí (UFJ). CEP 75801-615, Jataí (GO), Brasil, tiaraguimaraes@yahoo.com.br. Orcid ID: 0009-0009-6748-9422. Professor na Universidade Federal de Jataí (UFJ). CEP 75801-615, Jataí (GO), Brasil, c_hideo@ufj.edu.br. Orcid ID: 0000-0002-1334-5441.

Artigo recebido em 20/10/2023 e aceito em 26/05/2024

RESUMO

Nos sistemas de produção agrícola no cerrado a sucessão soja/milho é a mais difundida entre os produtores. Alternativo a este sistema, as gramíneas em sucessão a soja, como o milheto e as braquiárias. Estudos para consolidar os benefícios promovidos por estas plantas de cobertura nos atributos químicos são necessários para expansão destas técnicas na região de Cerrado, favorecendo a sustentabilidade do sistema plantio direto e do meio ambiente. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência das culturas antecessoras à soja nas características químicas do solo. O experimento foi iniciado em 2016 em Jataí-GO num Latossolo Vermelho distroférrico. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com 4 tratamentos (milho/soja; braquiária/soja; milho+braquiária/soja; milheto/soja) e 12 repetições. A amostragem de solo foi realizada em outubro/2020. Foram determinados pH, Matéria Orgânica, H+Al, P, K, Ca, Mg, V% e Al³⁺. As variáveis foram submetidas a anova e as médias comparadas pelo teste de Tukey 5% de probabilidade. O grau de intensificação dos sistemas de produção de grãos reflete diretamente na fertilidade do solo, ou seja, os sistemas soja/milho e soja/milho+braquiária reduzem mais rapidamente os teores Ca²⁺ e Mg²⁺ nas camadas superficiais do, aumentando a acidez potencial (H+Al) e reduzindo a saturação por bases (V%). Contudo, é importante enfatizar que o efeito é em razão do aumento da produção de alimentos por área, além de permitir a entrada de animais para consumo da braquiária na entressafra, o que reduz a necessidade de abertura de novas áreas. Esses nutrientes também podem ser repostos no sistema com o uso de calcário, insumo proveniente de rocha moída com mínimo de impacto ambiental com sua utilização.

Changes in soil chemical attributes as a function of agricultural production systems in the cerrado of Goiás

ABSTRACT

In agricultural production systems in the savannah, the soy/corn succession is the most widespread among producers. An alternative to this system are grasses in succession to soybeans, such as millet and brachiaria. Studies to consolidate the benefits promoted by these cover crops in chemical attributes are necessary to expand these techniques in the Savanna, favoring the sustainability of the direct planting system and the environment. The objective of the work was to evaluate the influence of soybean predecessor crops on the chemical characteristics of the soil. The experiment began in 2016 in Jataí-GO on a dystroferic Red Oxisol. The experimental design was randomized blocks, with 4 treatments (corn/soybean; brachiaria/soybean; corn + brachiaria/soybean; millet/soybean) and 12 replications. Soil sampling was carried out in October/2020. The degree of intensification of grain production systems directly reflects soil fertility, that is, soybean/corn and soybean/corn+brachiaria systems reduce Ca²⁺ and Mg²⁺ contents in the surface layers more quickly, increasing potential acidity (H + Al) and reducing base saturation (V%). However, it is important to emphasize that the effect is due to the increase in food production per area, in addition to allowing the entry of animals for brachiaria consumption in the off-season, which reduces the need to open new areas. These nutrients can also be replaced in the system with the use of limestone, an input from ground rock with minimal environmental impact when used.

Keywords: intercropping, crop succession, soil fertility, grasses.

Introdução

Em regiões brasileiras como o centro-oeste, o sistema de produção predominantemente adotado é a sucessão entre as culturas de soja e milho. De forma geral, esse sistema gera baixas quantidades de resíduos vegetais, e pode comprometer a viabilidade do sistema de plantio direto (SPD) no longo prazo (Peixoto et al., 2019).

No Brasil, mais de 32 milhões de hectares são cultivados em SPD, onde a rotação de culturas, persistência da palhada e o mínimo de perturbação do solo fazem-se os pilares do sucesso desse sistema (Peixoto et al., 2019). No que tange às condições de solo, a rotação de culturas e a persistência de palhada em superfície são fatores determinantes na escolha das plantas de cobertura. A persistência de palhada em superfície permite liberação mais lenta de nutrientes resultantes da decomposição do material vegetal, além da sua influência sobre diversas propriedades físicas.

A qualidade e quantidade de resíduos produzidos por plantas de cobertura, bem como a persistência em superfície, inferem no sucesso do SPD. Devido as condições edafoclimáticas do bioma Cerrado, como baixa fertilidade e pH, inverno seco, verão quente e com altas precipitações, faz com que o estabelecimento das plantas de cobertura como segunda safra seja dificultada (Nunes et al., 2021). Essas condições também promovem rápida decomposição da palhada, assim, reduzindo a matéria orgânica do solo gerando efeitos negativos na qualidade do solo (Pariz et al., 2017b; Carvalho et al., 2010; Jensen et al., 2020).

A indicação sistemática de plantas de cobertura associadas a um sistema de rotação de culturas é a principal estratégia para atingir o acúmulo de palhada em superfície, além de incrementos de produtividade para a cultura principal. As plantas de cobertura são um dos pilares para uma agricultura de conservação, pois aumentam a diversificação de produção no sistema (Duru et al., 2015). A qualidade da composição química das espécies vegetais utilizadas também é um ponto importante, pois pode colaborar com a melhoria dos atributos microbiológicos do solo através do acúmulo de matéria orgânica ao longo do tempo (Giongo et al., 2011).

A presença de resíduos vegetais, na superfície do solo, afeta diretamente a microbiota do solo, indicando que o uso de plantas de coberturas influencia a qualidade do solo

(Mercante et al., 2008). A qualidade e quantidade dos aportes orgânicos que entram no sistema significam diferentes taxas de ciclagem de carbono e nitrogênio (Kong et al., 2010) que, mediadas pelos microrganismos, resultarão na formação de diferentes frações orgânicas no solo e posterior liberação de nutrientes no solo. Daí a preferência por espécies que promovam, ao mesmo tempo, possibilidade de controle de plantas daninhas e proporcionem cobertura morta sobre o solo, promovendo melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos (Borghi et al., 2020).

Nesse sentido, a família das gramíneas (Poaceae) por apresentarem elevada relação C/N (carbono/nitrogênio) favorecendo uma maior permanência na superfície do solo associada à grande produção de massa foliar e de raízes é a escolha ideal para o cultivo que antecede a safra de soja. Essas plantas também são escolhidas devido ao sistema radicular agressivo. Com essas características, auxiliam na estruturação e aeração do solo, na absorção de nutrientes de camadas mais profundas e liberação através de sua decomposição gradativa, no uso racional da água, tornando-se uma fonte rentável economicamente. Além disso, o uso de gramíneas, isoladas, em mix e consorciadas com grãos pode favorecer a diversificação de culturas semeadas como segunda safra nos sistemas de produção, resultando em maior eficiência de produção e em biomassa de qualidade adicionada ao solo (Pacheco et al., 2017).

Dentre as gramíneas o milho se destaca como principal espécie no Cerrado em sucessão à cultura da soja, em razão do potencial retorno econômico dessa cultura dentro do sistema. Contudo, apesar do sistema radicular agressivo e elevada produção de biomassa desta espécie, a opção da sucessão de milho após soja ano após ano tende depreciar a qualidade química, física e biológica dos solos visto à elevada exportação de nutrientes, acidificação do solo pela adição de fertilizantes nitrogenados, intensificação de uso de defensivos agrícolas, aumento no tráfego de máquinas, além de seus resíduos serem de baixa qualidade.

Visando reduzir esses impactos a busca pela consorciação entre o milho com outras espécies aumentou exponencialmente nos últimos anos. Dentre as espécies mais utilizadas tem-se a *Urochloa ruziziensis* que tem alta capacidade de produção de matéria seca (Crusciol et al., 2021),

absorção de nutrientes em maiores profundidades, ciclagem de nutrientes e tolerância ao estresse hídrico (Torres et al., 2008; Tanaka et al., 2019; Momesso et al., 2021). O sistema de produção utilizando o milho safrinha consorciado com a braquiária, tem como vantagem, além de bom acúmulo de palhada para o sistema plantio direto na semeadura da soja, a possibilidade de se fazer duas safras de grãos e uma safra de pecuária, garantindo a sustentabilidade da atividade agrícola e pecuária (Pariz et al. 2016; 2017a; 2017b). Este melhor uso da terra pode reduzir drasticamente o desmatamento, ou seja, a supressão da cobertura vegetal original por pastagem, que ocupam majoritariamente a área rural do estado de Goiás (Vieira et al., 2023)

Outras opções seria utilizar de forma isolada a braquiária ou milheto (*Pennisetum glaucum*) em substituição ao milho. O milheto é uma espécie que vem se destacando como planta de cobertura, pois possui um rápido crescimento e estabelecimento a campo, além de elevada produção de biomassa (Costa et al., 2016; Crusciol et al., 2013) e maior acúmulo e liberação de nutrientes, principalmente nitrogênio e potássio, reduzindo os riscos de lixiviação (Algeri et al., 2018). A espécie apresenta boa adaptação às regiões tropicais áridas e semiáridas, tolerância ao déficit hídrico, às altas temperaturas e aos solos com baixa fertilidade natural (Marcante et al., 2011), ganhando destaque nos últimos anos no SPD devido à melhor adaptação e difusão no bioma Cerrado.

De acordo com Pacheco et al. (2017) o uso de plantas de cobertura em um plano de sucessão de culturas é um dos princípios fundamentais para manter a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, uma vez que oferecem condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das culturas subsequentes. O trabalho tem como hipótese que nos sistemas de produção soja/braquiária e soja/milheto há melhoria na fertilidade do solo, por serem menos intensivos em relação aos sistemas mais intensivos de soja/milho consorciado e soja/milho consorciado. Entretanto, no sistemas mais intensivos a consorciação do milho com a braquiária pode mitigar os efeitos negativos desta sucessão. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência das culturas antecessoras à soja, nas características químicas do solo.

Material e métodos

Caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido na área experimental da Fazenda Escola da Universidade Federal de Jataí (UFJ), localizada no município de Jataí (GO), com coordenadas geográficas de 17° 52' 53" S e 51°42' 52" W e 685 m de altitude, situada na região Centro-Oeste do Brasil. Conforme a classificação de Köppen o clima da região é Aw, tropical de savana com estações seca e chuvosa definidas, apresentando temperatura média anual de 23,7 °C e índice de 1.800 mm.ano⁻¹ de pluviosidade (INMET, 2022).

Os dados de precipitação e temperatura durante o período de condução do experimento (Figura 1) foram coletados na Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática da Universidade Federal de Jataí, filiada ao Instituto Nacional de Meteorologia-INMET.

O experimento foi conduzido em um Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) de textura argilosa (EMBRAPA, 2018), cuja caracterização química está apresentada na Tabela 1. A área vem sendo cultivada desde outubro de 2016 com diferentes sistemas de produção, que preconizam a semeadura direta e a soja como cultura principal.

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 4 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos consistiram e 4 sistemas de produção agrícola: 1- soja na safra e em segunda safra milho consorciado com braquiária (*Urochloa ruzizienses*); 2 - soja na safra e milho solteiro em segunda safra; 3 - soja na safra e braquiária em segunda safra e 4 - soja na safra e milheto em segunda safra.). Os tratamentos com plantas de cobertura foram distribuídos em monocultivo com espaçamento de 0,45 m e, no cultivo consorciado, o milho na linha e a braquiária na entrelinha. A área experimental apresentava dimensão de 360 m², com cada unidade experimental de 22,5 m² (4,5 x 5,0 m). Na escolha das plantas de cobertura, levou-se em consideração as culturas comuns da região.

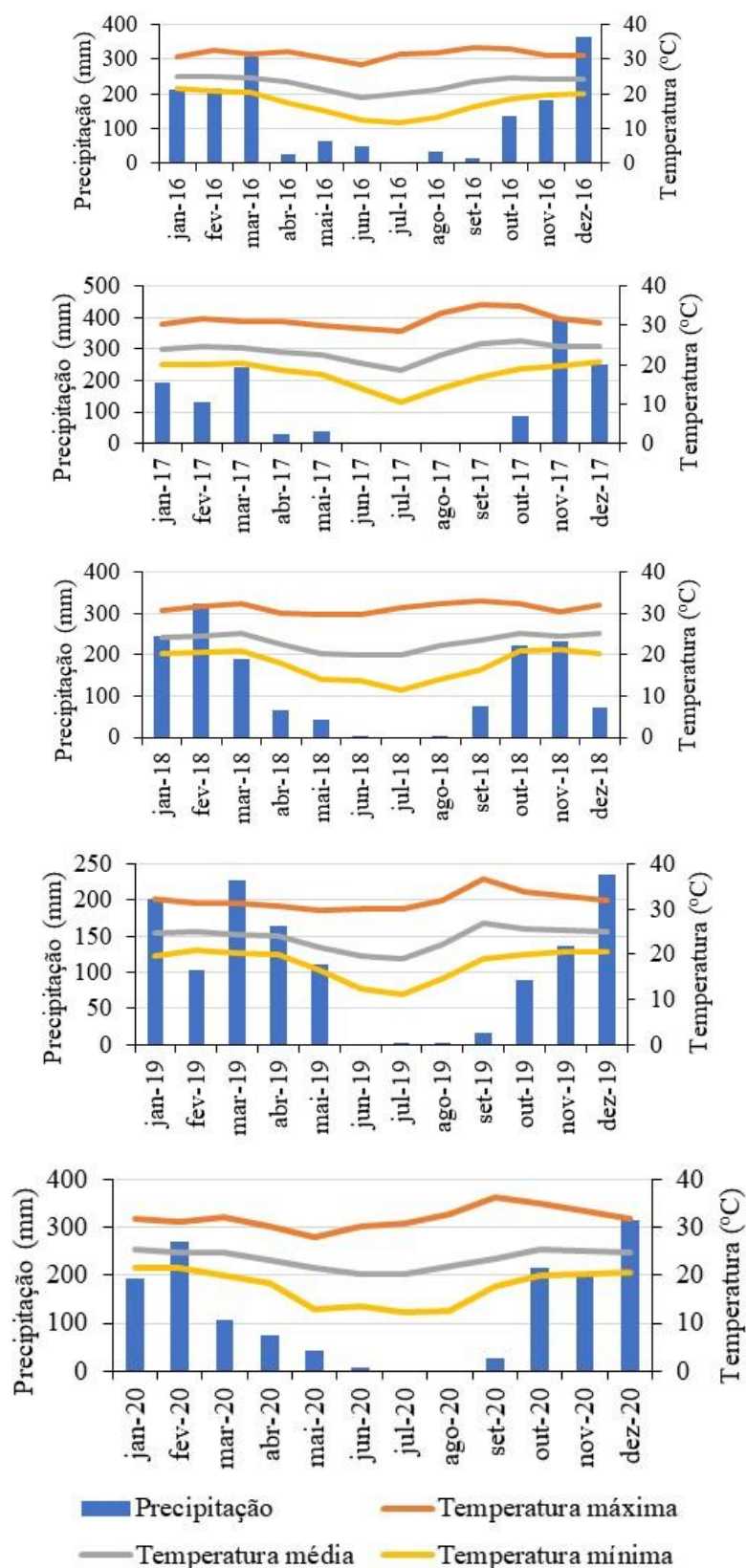


Figura 1. Precipitação acumulada (mm) e temperaturas máximas, mínimas e média (C°) durante os meses de janeiro de 2016 a dezembro de 2020 na fazenda escola da Universidade Federal de Jataí (UFJ).

Manejo das culturas

A semeadura da soja durante todos os anos do estudo (2016 – 2019) foi realizada no mês de outubro, no espaçamento de 0,45 m. As plantas de cobertura antecessoras à soja foram semeadas nos meses de fevereiro de 2017, 2018, 2019 e 2020 com espaçamento de 0,45 m e, no cultivo consorciado,

o milho na linha e a braquiária na entrelinha (Figura 2).

A densidade de semeadura, bem como o manejo da adubação e as cultivares utilizadas em cada safra estão especificados na tabela 2.

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica do solo (0-0,20 m) da área experimental antes da instalação do experimento. Jataí, GO, 2016.

pH	M.O.	P _{resina}	K	Ca	Mg	V
(CaCl ₂)	(g kg ⁻¹)	-- (mg dm ⁻³) --	--	-- (cmol _c dm ⁻³) --	--	(%)
5,1	36	14,1	2,1	2,8	1,0	41
Argila		Areia		Silte		
-----g kg ⁻¹ -----						
585		240		175		

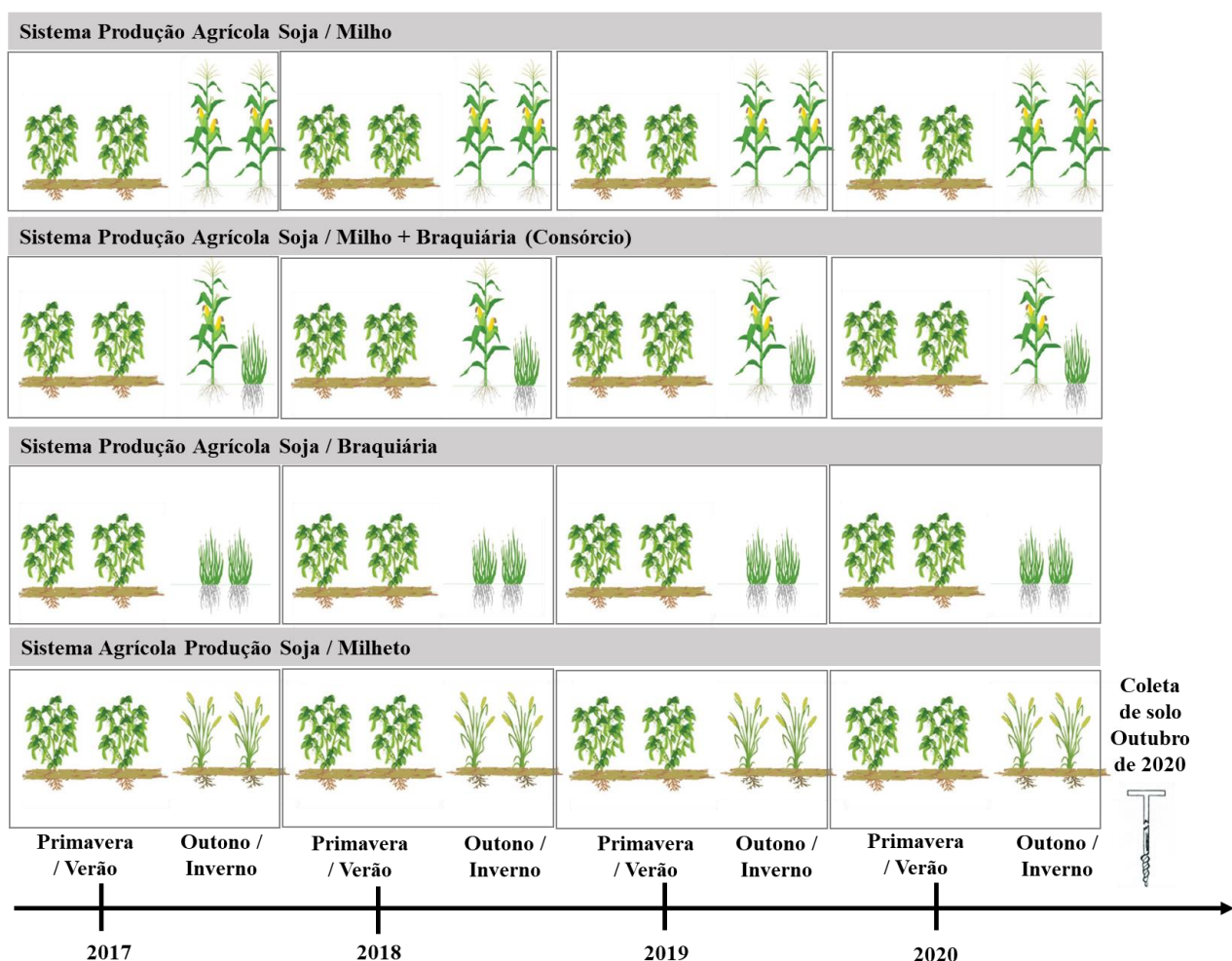


Figura 2. Esquema dos sistemas de produção e linha do tempo do experimento.

Tabela 2. Cultivar, densidade de semeadura e manejo de adubação realizado nas safras 2016/2017, 2017/2018, 2018/2019 e 2019/2020 em cada tratamento.

		Ano Agrícola			
		2016/2017	2017	2017/2018	2018
		<u>Soja</u>	<u>Milho Solteiro</u>	<u>Soja</u>	<u>Milho</u>
Cultivar		DM6563 IPRO	2A401PW	M7110 IPRO	2B433PW
Densidade		14,4 sem m ⁻¹	3 sem m ⁻¹	14,4 sem m ⁻¹	3 sem m ⁻¹
Adubação	N-plantio	0 kg ha ⁻¹	80 kg ha ⁻¹	0 kg ha ⁻¹	30 kg ha ⁻¹
	P ₂ O-plantio	80 kg ha ⁻¹	80 kg ha ⁻¹	80 kg ha ⁻¹	80 kg ha ⁻¹
	K ₂ O-plantio	80 kg ha ⁻¹	80 kg ha ⁻¹	80 kg ha ⁻¹	90 kg ha ⁻¹
	N-cobertura		70 kg ha ⁻¹		100 kg ha ⁻¹
			<u>Consórcio</u>		<u>Consórcio</u>
Cultivar			2A401PW		2B433PW
Densidade			3 sementes m ⁻¹		3 sementes m ⁻¹
Adubação	N-plantio		80 kg ha ⁻¹		30 kg ha ⁻¹
	P ₂ O-plantio		80 kg ha ⁻¹		80 kg ha ⁻¹
	K ₂ O-plantio		80 kg ha ⁻¹		90 kg ha ⁻¹
	N-cobertura		70 kg ha ⁻¹		100 kg ha ⁻¹
Cultivar			<i>U. ruziziensis</i>		<i>U. ruziziensis</i>
Densidade			10 kg ha ⁻¹		10 kg ha ⁻¹
Valor Cultural			51,80%		75,00%
			<u>Milheto</u>		<u>Milheto</u>
Cultivar			ADR300		ADR300
Densidade			20 kg ha ⁻¹		20 kg ha ⁻¹
Cultivar			<i>U. ruziziensis</i>		<i>U. ruziziensis</i>
Densidade			10 kg ha ⁻¹		10 kg ha ⁻¹
Valor Cultural			51,80%		75,00%
		Ano Agrícola			
		2018/2019	2019	2019/2020	2020
		<u>Soja</u>	<u>Milho</u>	<u>Soja</u>	<u>Milho</u>
Cultivar		SYN1163RR	B2433PWU	SPEED	MG545 PWU
Densidade		15 sem m ⁻¹	3 sem m ⁻¹	20 sem m ⁻¹	3 sem m ⁻¹
Adubação	N-plantio	0 kg ha ⁻¹	30 kg ha ⁻¹	0 kg ha ⁻¹	30 kg ha ⁻¹
	P ₂ O-plantio	80 kg ha ⁻¹	80 kg ha ⁻¹	80 kg ha ⁻¹	80 kg ha ⁻¹
	K ₂ O-plantio	80 kg ha ⁻¹	90 kg ha ⁻¹	80 kg ha ⁻¹	90 kg ha ⁻¹
	N-cobertura		100 kg ha ⁻¹		100 kg ha ⁻¹
			<u>Consórcio</u>		<u>Consórcio</u>
Cultivar			B2433PWU		MG 545 PWU
Densidade			3 sementes m ⁻¹		3 sementes m ⁻¹
Adubação	N-plantio		30 kg ha ⁻¹		30 kg ha ⁻¹
	P ₂ O-plantio		80 kg ha ⁻¹		80 kg ha ⁻¹
	K ₂ O-plantio		90 kg ha ⁻¹		90 kg ha ⁻¹
	N-cobertura		100 kg ha ⁻¹		100 kg ha ⁻¹
Cultivar			<i>U. ruziziensis</i>		<i>U. ruziziensis</i>
Densidade			10 kg ha ⁻¹		10 kg ha ⁻¹
Valor Cultural			75,00%		80,00%
			<u>Milheto</u>		<u>Milheto</u>
Cultivar			ADR300		ADR300
Densidade			20 kg ha ⁻¹		20 kg ha ⁻¹
			<u>Braquiária</u>		<u>Braquiária</u>
Cultivar			<i>U. ruziziensis</i>		<i>U. ruziziensis</i>
Densidade			10 kg ha ⁻¹		10 kg ha ⁻¹
Valor Cultural			75,00%		80,00%

Avaliações químicas

Em outubro de 2020, antes do plantio da cultura da soja na safra 2020/2021, foi realizada a

coleta de solo para as análises químicas. Foram coletadas amostras nas profundidades de 0,00 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, retirando-se cinco pontos de cada parcela. As

amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em peneira ABNT N° 10 (2 mm) para posterior avaliação dos atributos químicos do solo de acordo com metodologia descrita em Raij et al. (2001).

O pH do solo foi determinado em suspensão de CaCl_2 0,01 mol L^{-1} (1:2,5 solo/solução). A matéria orgânica do solo (MOS) foi determinada pelo método Walkley-Black. O H+Al em pH 7,0 foi estimado pelo método da solução tampão SMP. Ca e Mg foram extraídas com cloreto de amônio (NH_4Cl) e a leitura realizada por espectrometria de absorção atômica. O P e K foram extraídos por meio de extrator ácido Mehlich-1, posteriormente a leitura foi realizada por espectrofotômetro e fotômetro de chama, respectivamente (Raij et al., 2001).

Análise estatística

Os dados foram submetidas a análise de variância (teste F), as médias quando apresentaram diferenças ao nível de 5% de probabilidade, foram

comparadas pelo teste de Tukey a 5% pelo programa estatístico Sisvar 4.2 (Ferreira, 2019).

Resultados e discussão

Os resultados da análise de variância para matéria orgânica do solo, pH, H + Al e P em função dos sistemas de produção estão apresentados na Tabela 3.

Os teores de matéria orgânica do solo e o pH não foram alterados pelos sistemas de produção em nenhuma das profundidades estudadas (Figura 3). A ausência de efeito significativo para a matéria orgânica do solo entre os sistemas produção agrícola pode estar relacionada ao fato de todos os sistemas terem produzido quantidades consideráveis de palhada, incluindo os sistemas que continham a cultura do milho. Cabe ressaltar que o aumento no teor de matéria orgânica ocorre de maneira gradual e seus benefícios são visualizados a longo prazo (Chaves et al., 2024).

Tabela 3. Probabilidade de F para os atributos químicos do solo nas profundidades de 0–0,05, 0,05–0,10, 0,10–0,20 e 0,20–0,40 m em função dos sistemas de produção agrícola. Jataí, GO, 2020.

Fator de Variação	M.O.	pH (H_2O)	H + Al	P (Melich-1)
<u>Profundidade 0 – 0,05 m</u>				
Sistemas Produtivos	0,9511	0,1506	0,0044*	0,0081*
C.V. (%)	4,22	6,99	20,27	22,28
<u>Profundidade 0,05 – 0,10 m</u>				
Sistemas Produtivos	0,8310	0,0708	0,4351	0,0003*
C.V. (%)	11,53	7,57	14,77	11,39
<u>Profundidade 0,10 – 0,20 m</u>				
Sistemas Produtivos	0,2062	0,1648	0,3989	0,1794
C.V. (%)	8,96	6,93	14,43	16,86
<u>Profundidade 0,20 – 0,40 m</u>				
Sistemas Produtivos	0,8614	0,3368	0,4461	0,0434*
C.V. (%)	22,56	5,92	10,31	18,23

* Significativo a 5% de probabilidade. MO: Matéria orgânica; pH: Potencial hidrogeniônico; H+AL: Acidez potencial; P: Fósforo mehlich. ; C.V.: Coeficiente de variação.

Rosa et al. (2017) trabalharam com a implantação de sistemas de rotação de culturas, e após dois anos também não observaram incremento nos teores de matéria orgânica do solo, contudo,

observaram incremento de carbono na fração de ácidos fúlvicos em razão do uso de plantas de cobertura.

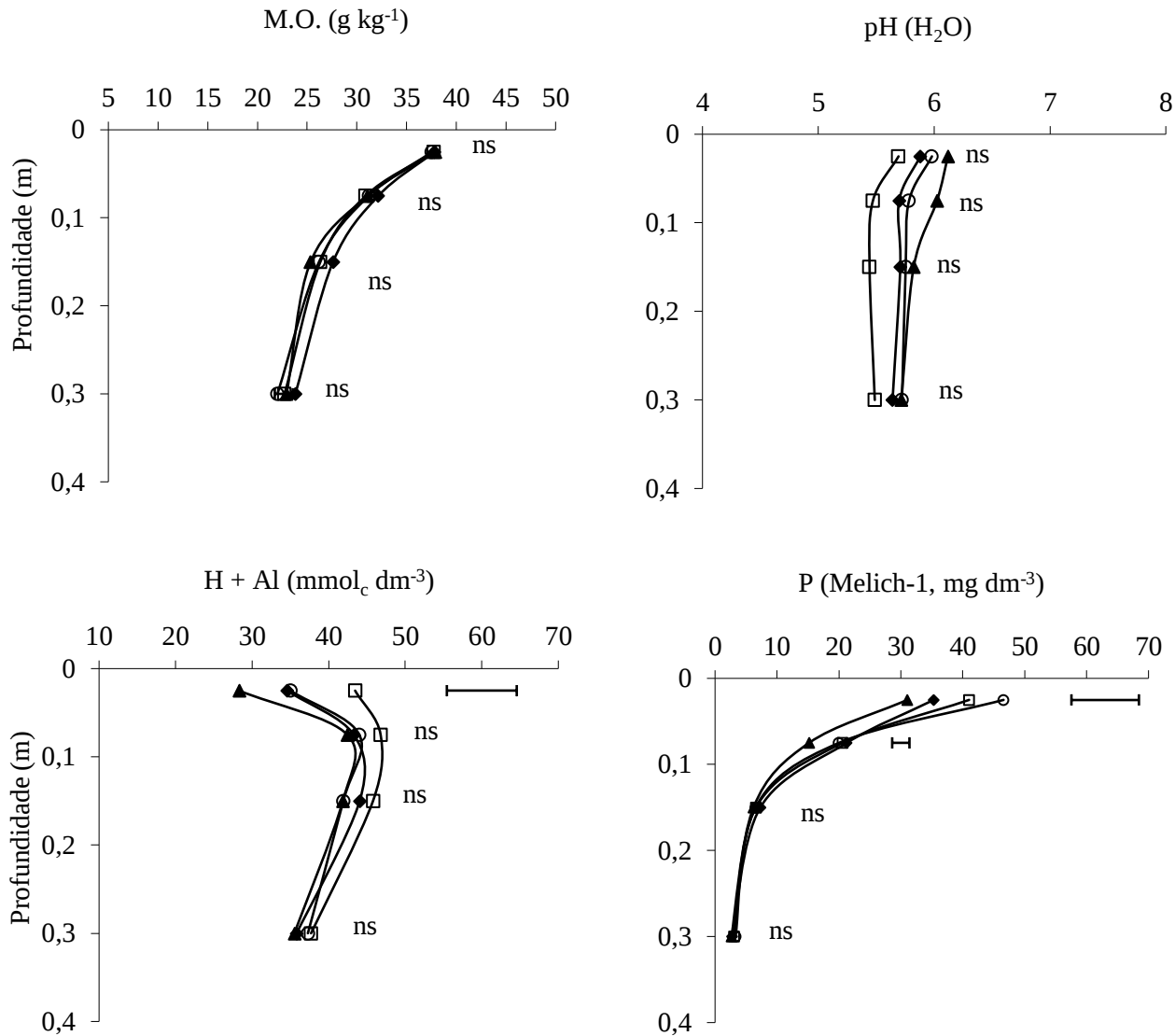


Figura 3. Teores de matéria orgânica do solo (M.O.), valores de pH, teores de H + Al e P (P-melich 1) em função dos sistemas de produção soja/milho (▲), soja/milho+braquiária (□), soja/milho (○) e soja/braquiária (◆). Barras horizontais indicam a diferença mínima significativa (DMS).

Porém, na literatura há diversos relatos do aumento nos teores de carbono orgânico do solo com a inclusão de espécies do gênero *Urochloa* nos sistemas de produção agrícola em menor período de tempo (2 anos) (Crusciol et al., 2015; 2023). É importante ressaltar que esse efeito está relacionado ao maior tempo de desenvolvimento dessas espécies, visto que a semeadura ocorre de

forma consorciada com o milho na safra principal (primavera/verão), e após a colheita do milho se desenvolvem durante o outono/inverno. Nesses trabalhos o cultivo das espécies é beneficiadas também pelas condições climáticas, enquanto que no sistema adotado neste trabalho as espécies foram cultivadas na entressafra com semeadura ocorrendo no início do outono, período quando há redução da temperatura e precipitação (Figura 1).

Os teores de H+Al aumentaram no sistema soja/milho+braquiária na camada superficial do solo de 0-0,05 m, indicando uma tendência na acidificação do solo, também observada nos valores de pH do solo. A tendência de acidificação observada nos sistemas que continham milho (soja/milho+braquiária e soja/milho) está relacionada à maior exportação dos nutrientes, em razão da colheita dos grãos de milho, bem como da aplicação dos fertilizantes nitrogenados na cultura do milho que tendem a acidificar o solo. Dal Molin et al. (2020) verificaram que a aplicação de ureia promoveu acidificação do solo, reduzindo os valores de pH linearmente até a última avaliação aos 56 dias da sua aplicação. Esse fenômeno ocorre em função das reações de oxidação que geram íons H⁺ como um dos produtos da reação, no processo conhecido por nitrificação.

Já no sistema consorciado ocorreu de forma mais intensa pela maior produtividade de grãos neste sistema em relação ao sistema produtivo com milho solteiro na segunda safra, promovendo maior exportação de cátions básicos. Fanjaniaina et al. (2021) constataram efeito semelhante trabalhando em sistemas mistos de integração lavoura-pecuária, no qual a remoção de biomassa, seja exportação via grãos ou forragem, causou redução de nutrientes e aumento da acidificação do solo.

Os teores de fósforo foram maiores na camada de 0-0,05 m nos sistemas produtivos soja/milho+braquiária e soja/milho (Figuras 1). Nesses sistemas produtivos com a presença do milho na segunda safra houve maior aporte de fertilizantes fosfatados (Tabela 2), para atender a demanda nutricional das culturas instaladas. Contudo, é importante destacar que na camada de 0,05-0,10 m houve aumento nos teores de fósforo no sistema produtivo de soja/braquiária em relação ao sistema produtivo de soja/milheto, apresentando

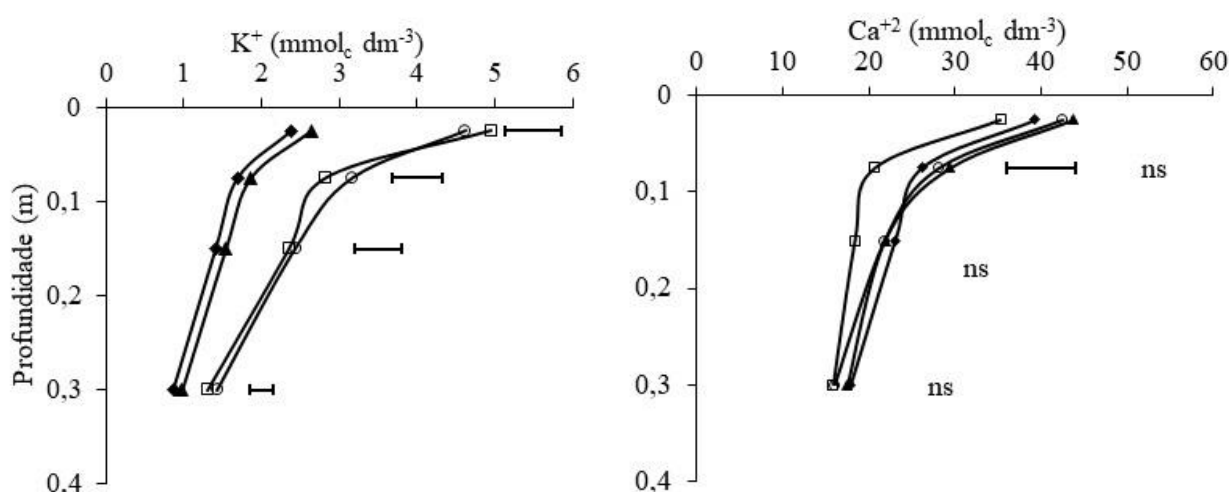
teores similares aos sistemas produtivos de soja/milho+braquiária e soja/milho. Neste caso, as espécies de *Urochloa* sob condições de baixos teores de fósforo no solo tendem a exsudar grandes quantidades de oxalatos e ácidos orgânicos (Almeida et al., 2020) que modulam a liberação de P da fase sólida do solo. Essa liberação pode ocorrer pela competição direta dos ácidos orgânicos com o P nos sítios de adsorção na superfície dos óxidos de Fe e Al, induzindo a dessorção, e pela complexação dos cátions metálicos pelos ácidos orgânicos, induzindo a solubilização do fósforo precipitado. Também pode estar relacionada à elevada produção de biomassa de raízes, que ao longo do tempo podem elevar a concentração de formas de P lábeis, ou seja, prontamente disponíveis para absorção dos cultivos, nas camadas mais superficiais do solo, em função de absorverem o P não lábil em camadas mais profundas do solo, que é então devolvido à superfície do solo através da mineralização de resíduos (Almeida; Rosolem, 2016; Almeida et al., 2018).

Os resultados da análise variância para os atributos K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e V% em função dos sistemas de produção estão apresentados na Tabela 4. Os teores de potássio foram maiores nos sistemas produtivos soja/milho+braquiária e soja/milho em todas as camadas avaliadas (Tabela 4 e Figura 4). Estes resultados são explicados pela adubação potássica realizada na cultura do milho no momento do plantio (Tabela 2), o que permitiu maior aporte deste nutriente no solo. Quanto aos efeitos observados em todas as camadas do solo avaliadas ocorreu em razão deste ser um nutriente móvel no solo, e sua mobilidade no solo estar relacionada a quantidade de água que lixivia no perfil e pela concentração do nutriente na solução do solo (Gomes et al., 2022).

Tabela 4. Probabilidade de F para os atributos K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e V% nas profundidades de 0–0,05, 0,05–0,10, 0,10–0,20 e 0,20–0,40 m em função dos sistemas de produção agrícola. Jataí, GO, 2020.

Fator de Variação	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	V%
<u>Profundidade 0 – 0,05 m</u>				
Sistemas Produtivos	<0,0001*	0,1071	0,0440*	0,0141*
C.V. (%)	15,55	19,8	23,49	13,92
<u>Profundidade 0,05 – 0,10 m</u>				
Sistemas Produtivos	0,0001*	0,0333*	0,0050*	0,1160
C.V. (%)	21,44	24,04	20,17	16,20
<u>Profundidade 0,10 – 0,20 m</u>				
Sistemas Produtivos	0,0007*	0,2769	0,0528	0,4040
C.V. (%)	24,29	26,90	30,20	21,40
<u>Profundidade 0,20 – 0,40 m</u>				
Sistemas Produtivos	0,0005*	0,2284	0,0760	0,2417
C.V. (%)	19,75	16,29	23,01	7,98

* Significativo a 5% de probabilidade; ; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; V%: Saturação por bases. C.V.: Coeficiente de variação.



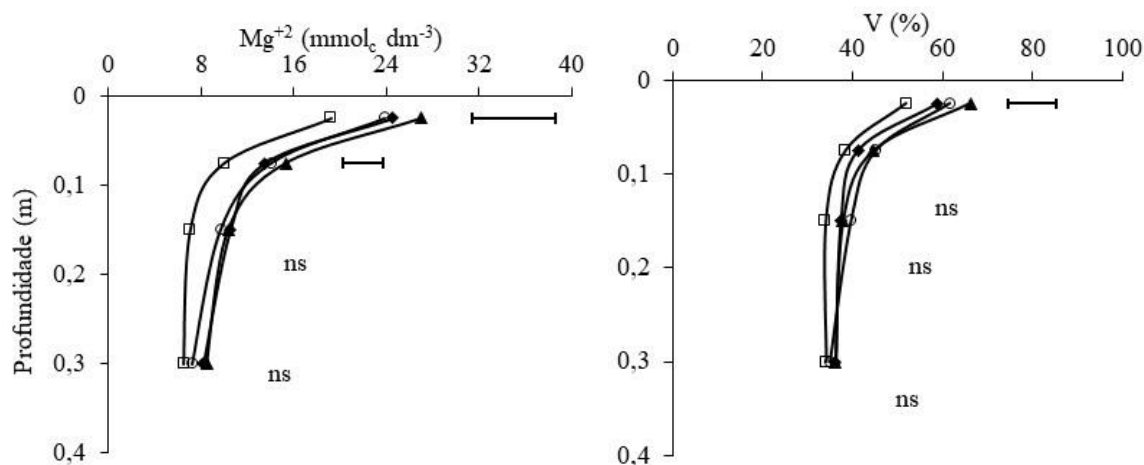


Figura 4. Teores de potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e saturação por bases (V%) em função dos sistemas de produção soja/milho ($\blacktriangle$), soja/milho+braquiária ($\square$), soja/milho ($\circ$) e soja/braquiária ($\blacklozenge$). Barras horizontais indicam a diferença mínima significativa (DMS).

Os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e a saturação por bases foram menores no sistema produtivo soja/milho+braquiária nas camadas de 0,05-0,10 m, 0,00-0,10 m e 0,00-0,05 m, (Figura 4). Esta redução está diretamente relacionada a maior exportação destes nutrientes devido a maior produção de grãos, reforçando a hipótese de que a exportação destes nutrientes intensificou a acidificação.

Esses resultados contrastam com os de Crusciol et al. (2015) e Crusciol et al. (2023) que observaram melhoria na fertilidade do solo no sistema de milho consorciado com espécies forrageiras. Contudo, o sistema é importante ressaltar os autores semearam o milho no início do verão, não havendo grandes exportações de nutrientes como no presente estudo em razão das duas safras agrícolas, além de que a braquiária teve um período maior para seu desenvolvimento e condições mais favoráveis.

Dentre os sistemas produtivos o milheto semeado na entressafra apresenta elevado potencial na melhoria da fertilidade do solo (Figuras 2 e 3), porém, em estudos preliminares este não refletiu no aumento da produtividade de grãos de soja. Esses resultados corroboram os de Torres et al. (2024) que também verificaram melhoria da fertilidade do solo com milheto, porém não refletindo no aumento de produtividade da cultura da soja. Fica evidente o potencial dos sistemas de produções consorciados com braquiária, no qual se tem maior produção de alimentos por área, devendo ter

especial atenção na reposição dos nutrientes exportados pelas culturas.

Conclusões

O grau de intensificação dos sistemas de produção de grãos reflete diretamente na fertilidade do solo, ou seja, os sistemas soja/milho e soja/milho+braquiária reduzem mais rapidamente os teores Ca^{2+} e Mg^{2+} nas camadas superficiais do, aumentando a acidez potencial (H^+Al) e reduzindo a saturação por bases (V%). Contudo, é importante enfatizar que o efeito é em razão do aumento da produção de alimentos por área, além de permitir a entrada de animais para consumo da braquiária na entressafra, o que reduz a necessidade de abertura de novas áreas. Esses nutrientes também podem ser repostos no sistema com o uso de calcário, insumo proveniente de rocha moída com mínimo de impacto ambiental com sua utilização.

Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (Capes) pela bolsa concedida à quarta autora, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida ao primeiro e quinto autor, e a Fundação Agrisus (Número de registro: 2508/18) financiamento do projeto.

Referências

- Algeri, A., Vilar, C. C., Ushiwata, S. Y., & Reis, R. D. G. E., 2018. Produção de biomassa e cobertura do solo por milheto, braquiária e crotalaria cultivados em cultura pura e consorciados. *Global Science and Technology* [online] 11. Disponível: <https://rv.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/963>. Acesso: 30 mai. 2024.
- Almeida, D.S.; Delai, L.B.; Sawaya, A.C.H.F.; Rosolem, C.A., 2020. Exudation of organic acid anions by tropical grasses in response to low phosphorus availability. *Scientific Reports* [online] 10. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73398-1>. Acesso: 30 mai 2024.
- Almeida, D.S., Rocha, K.F., De Souza, M., Delai, L.B., Rosolem, C.A., 2018. Soil phosphorus bioavailability and soybean grain yield impaired by ruzigrass. *Agronomy Journal* [Online] 110. Disponível: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.08.0451>. Acesso em: 02 jun. 2023.
- Almeida, D.S., Rosolem, C.A., 2016. Ruzigrass grown in rotation with soybean increases soil labile phosphorus. *Agronomy Journal* [Online] 108. Disponível: <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0478>. Acesso em: 05 jan. 2023.
- Borghi, E.; Silva, G. F.; Calonego, J. C.; Parrella, R. A. C.; Antonio, M. S., 2020. Sorgo Biomassa BRS 716 para Produção de Forragem e Palha em Sistema de Plantio Direto e Preparo Convencional com Soja. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Embrapa Milho e Sorgo* [online]. Disponível: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126603/1/Bol-216.pdf>. Acesso: 30 mai. 2024.
- Carvalho, P.C.F., Anghinoni, I., Moraes, A., Souza, E.D., Sulc, R.M., Lang, C.R., Flores, J.P.C., Lopes, M.L.T., Silva, J.L.S., Conte, O., Wesp, C.L., Levien, R., Fontaneli, R.S., Bayer, C., 2010. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* [online] 88. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9360-x>. Acesso: 30 mai. 2024.
- Chaves, V.B.S.; Guimaraes, T.M.; Bezerra, A.C.T.P.; Costa, C.H.M.; Cruz, S.C.S., 2024. Enzymatic Activity in Different Crop Succession Systems in the Cerrado Region. *Agronomy* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.3390/agronomy14040810>. Acesso: 28 mai. 2024.
- Costa, C.H.M., Crusciol, C.A.C, Soratto, R.P., Ferrari Neto, J., 2016. Taxas de decomposição e liberação de nutrientes da fitomassa de milheto, capim colônia e capim-braquiária. *Bioscience Journal* [Online] 32. Disponível: <https://doi.org/10.14393/BJ-v32n5a2016-32982>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- Crusciol C.A.C., Nascente A.S., Borghi E., Soratto R.P., Martins P.O., 2015. Improving soil fertility and crop yield in a tropical region with palisadegrass cover crops. *Agronomy Journal*, [Online] 107. Disponível: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0603>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- Crusciol, C. A. C., Ferrari Neto, J., Soratto, R.P., Costa, C.H.M. da., 2013. Cycling of nutrients and silicon in pigeonpea and pearl millet monoculture and intercropping. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [Online] 37. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600019>. Acesso em: 05 jan. 2024.
- Crusciol, C.A.C., Momesso, L., Portugal, J. R., Costa, C.H.M., Bossolani, J.W., Costa, N.R., Pariz, C.M., Castilhos, A.M., Rodrigues, V.A., Costa, C., Franzluebbers, Cantarella, H., 2021. Upland rice intercropped with forage grasses in an integrated crop-livestock system: optimizing nitrogen management and food production. *Field Crop Research* [Online] 261. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108008>. Acesso em 20 jan. 2024.
- Crusciol, C.A.C., Santos Ferreira, J.H., Momesso, L., Portugal, J.R., de Campos, M., Volf, M.R., Borghi, E., Soratto, R.P., Calonego, J.C., 2023. Lasting effect of *Urochloa brizantha* on a common bean-wheat-maize rotation in a medium-term no-till system. *Frontiers in Sustainable Food Systems* [Online] 7. Disponível: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.940996>. Acesso em: 19 out. 2023.
- Dal Molin, S,J; Ernani, P.R.; Gerber, J.M., 2020. Soil acidification and nitrogen release following application of nitrogen fertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* [online] 51. Disponível: <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1845347> © 2020 Taylor & Francis Group, LLC. Acesso: 30 mai. 2024.
- Duru, M., Theorond, O., Martins, G., Clouaire, R. M., Magne, M. A., Justes, E., Journet, E. P.,

- Aubertot, J. N., Savary, S., Bergez, J. E., Sarthou, P., 2015. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development* [online] 35. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>. Acesso: 30 mai 2024.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília.
- Fanjaniaina, M.L.; Delariviere, J.L.; Salgado, P.; Tillard, E.; Becquer, T., 2021. Biomass harvesting leads to soil acidification: a study of mixed crop–livestock farming systems in Madagascar. *Crop and Pasture Science* [online] 72. Disponível: <https://doi.org/10.1071/CP20499>. Acesso: 30 mai. 2024.
- Ferreira, D.F., 2019. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria* [online] 37. Disponível: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>. Acesso 05 jan. 2024.
- Giongo, V.; Mendes, A. M. S.; Cunha, T. J. F.; GALVÃO, S. R. S., 2011. Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no semiárido brasileiro. *Revista Ciência Agronômica* [online] 42. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300006>. Acesso: 30 mai 2024.
- Gomes, M. de P., Rezende, C.H.S., Souza, J.A. ., Rocha, G.C., 2022. Lixiviação de potássio em um latossolo cultivado com café. *Irriga* [Online] 27. DOI:. Disponível: <https://doi.org/10.15809/irriga.2022v27n3p597-606>. Acesso em: 18 out. 2023.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, 2022. Dados Históricos. Disponível em <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em 30 de junho de 2022.
- Jensen, E.S., Carlsson, G., Hauggaard-Nielsen, H. 2020. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: a global-scale analysis. *Agronomy Sustainable Development* [online] 40. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>. Acesso: 25 mai 2024.
- Kong, A. Y. Y.; Hristova, K.; Scowb, K. M.; Six, J. Impacts of different N management regimes on nitrifier and denitrifier communities and N cycling in soil microenvironments. *Soil Biology e Biochemistry* [online] 42. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.05.021>. Acesso: 25 mai 2024.
- Marcante, N. C., Camacho, M. A., & Junior, F. P. P., 2011. Teores de nutrientes no milho como cobertura de solo. *Bioscience Journal* [online] 27. Disponível: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7564/7224>. Acesso: 15 jan 2024.
- Mercante, F. M.; Silva, R. F.; Francelino, C. S.F.; Cavalheiro, J. C. T.; Otsubo, A.A., 2008. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. *Acta Scientiarum Agronomy* [online] 34. Disponível: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i4.5301>. Acesso: 15 jan 2024.
- Momesso, L., Crusciol, C.A.C., Soratto, R.P., Tanaka, K.S., Costa, C.H.M., Bastos, L.M., Ciampitti, I.A., 2021. Cover crop and early nitrogen management for common bean in a tropical no-till system. *Agronomy Journal* [Online] 113. doi: <https://doi.org/10.1002/agj2.20815>. Acesso em 10 out. 2023.
- Nunes, P.A.A., Laca, E.A., Carvalho, P.C.F., Li, M, Souza Filho W., Kunrath, T.R., Martins, A.P., Gaudin, A., 2021. Livestock integration into soybean systems improves long-term system stability and profits without compromising crop yields. *Scientific Reports* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81270-z>. Acesso: 30 mai 2024.
- Pacheco, L. P.; Miguel, A. S. D. C. S.; Silva, R. G. D.; Souza, E. D. D.; Petter, F. A.; Kappes, C., 2017. Biomass yield in production systems of soybean sown in succession to annual crops and cover crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* [online] 52. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000800003>. Acesso: 30 mai 2024.
- Pariz, C.M., Costa, C., Crusciol, C.A.C., Meirelles, P.R., Castillos, A.M., Andreotti, M., Costa, N.R., Martello, J.M., Souza, D.M., Protes, V.M., Longuini, V.Z., Franzluebbers, A.J., 2017a. Production, nutrient cycling and soil compaction to grazing of grass companion cropping with corn and soybean. *Nutrient Cycling Agroecosystems* [Online] 108. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9821-y>. Acesso em: 05 jan. 2023.
- Pariz, C.M, Costa, C., Crusciol, C.A.C., Castillos, A.M., Meirelles, P.R., Roça, R.O., Pinheiro, R.S.B., Kuwahara, F.A., Martello, J.M., Cavasano, F.A., Yasuoka, J.I., Sarto, J.R.W.,

- Melo, V.F.P., Franzluebbbers, A.J., 2017b. Lamb production responses to grass grazing in a companion crop system with corn silage and oversowing of yellow oat in a tropical region. *Agricultural Systems* [Online] 151. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.11.004>. Acesso em: 05 jan. 2023.
- Pariz, C.M., Costa, C., Crusciol, C.A.C., Meirelles, P.R., Castillos, A.M., Andreotti, M., Costa, N.R., Martello, J.M., Souza, D.M., Sarto, J.R.W., Franzluebbbers, A.J., 2016. Production and soil responses to intercropping of forage grasses with corn and soybean silage. *Agronomy Journal* [Online] 108. Disponível: <https://doi.org/10.2134/agronj2016.02.0082>. Acesso em: 05 jan. 2023.
- Peixoto, D. S.; Silva, B. M.; Oliveira, G. C.; Moreira, S. G.; da Silva, F.; Curi, N., 2019. A soil compaction diagnosis method for occasional tillage recommendation under continuous no tillage system in Brazil. *Soil and Tillage Research* [online] 194. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104307>. Acesso: 30 mai 2024.
- Raij, B. van, Andrade, J.C., Cantarella, H. & Quaggio, J.A., eds. 2001. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agrônomo.
- Rosa, D.M., Nóbrega, L.H.P., Mauli, M.M., Lima, G.P., Pacheco, F.P., 2017. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. *Revista Ciência Agronômica* [Online] 48. Disponível: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170026>. Acesso em: 05 jan. 2023.
- Tanaka, K.S., Crusciol, C.A.C., Soratto, R.P., Momesso, L., Costa, C.H.M., Franzluebbbers, A.J., Oliveira Jr, A., Calonego, J.C., 2019. Nutrients released by Urochloa cover crops prior to soybean. *Nutrient Cycling Agroecosystems* [Online] 113. doi: <https://doi.org/10.1007/s10705-019-09980-5>. Acesso em 10 out. 2023.
- Torres, J. L. R., Pereira, M. G., Fabian, A. J., 2008. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* [Online] 43. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000300018>. Acesso em: 05 jan. 2023.
- Torres, J.L.R.; Vieira, D.M.S.; Orioli Junior, V.; Daineis, R.; Pinto, V.B.; Alves, C.P.M.; Guimarães, C.C.; Santana, G.M., 2024. Produção de milho e soja cultivados em sucessão e rotação com diferentes coberturas no cerrado. *Revista de Gestão Social e Ambiental* [online] 18. Disponível: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n2-015>. Acesso: 05 jan 2024.
- Vieira, M.J., Santos, L.A.C., Silva, A.C.L., Silva-Neto, C.M.S., 2023. O Uso do solo e os impactos na qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão Vereda. *Revista Brasileira de Geografia Física* [Online] 16. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.5.p2690-2703>. Acesso em: 05 jan. 2023.