

Atributos químicos de solos em integração lavoura-pecuária de longa duração

Chemical attributes of soils in long-term crop-livestock integration

Atributos químicos de los suelos en la integración cultivo-ganadería a largo plazo

Recebido: 26/10/2020 | Revisado: 03/11/2020 | Aceito: 07/11/2020 | Publicado: 12/11/2020

Edivan José Possamai

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7260-8889>

Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, Brasil

E-mail: edivanjp@idr.pr.gov.br

Paulo Cesar Conceição

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5880-8094>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

E-mail: paulocesar@utfpr.edu.br

Maiara Karini Haskel

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9635-174X>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

E-mail: maiara.haskel@hotmail.com

Lizete Stumpf

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7760-0803>

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

E-mail: zete.stumpf@gmail.com

Cristiane Dalagua Paier

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2236-2593>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

E-mail: cryspaier@hotmail.com

Jaqueline Kristiane da Rosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4891-9580>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

E-mail: jaquelinekris@hotmail.com

Laércio Ricardo Sartor

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1615-6216>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

E-mail: laerciosartor@utfpr.edu.br

Resumo

Objetivou-se avaliar os atributos químicos de solos em área com adoção de sistemas integrados de produção agropecuária de longa duração, comparado a uso do solo com pastagem e mata nativa. O estudo foi realizado em áreas manejadas de cinco estabelecimentos agropecuários do Sudoeste do Paraná, que adotaram o sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) e receberam orientações de práticas de manejo de solo por 12 anos. Em cada localidade foram amostrados solos sob ILP, pastagem (PV) e mata nativa (MN) para a determinação do pH, dos teores de Ca, Mg, K, P, da saturação por bases (V%) e alumínio (m%) e do teor de matéria orgânica do solo (MOS). A adoção do sistema de ILP, proporcionou níveis adequados dos atributos químicos dos solos, principalmente para pH, V%, m%, Ca, Mg, K e MOS. Identificaram-se, ainda, casos de uso de elevadas doses de cama de aviário como fertilizante, com altos teores de P na superfície do solo, os quais podem gerar problemas ambientais.

Palavras-chave: pH; Cálcio; Potássio; Fósforo; Matéria orgânica.

Abstract

The objective was to evaluate the chemical attributes of soils in an area with the adoption of integrated agricultural production systems of long-term, comparing land use with pasture and native forest. The study was carried out in areas managed by five agricultural technicians from the Southwest of Paraná, who adopted the crop-livestock integration system (ILP) and received guidance on soil management practices for 12 years. In each locality, soils under ILP, pasture (PV) and native forest (MN) were sampled to determine pH, Ca, Mg, K, P, base saturation (V%) and aluminum (m%) and soil organic matter (MOS) content. The adoption of the ILP systems, provides adequate levels of the chemical attributes of the soils, mainly for pH, V%, m%, Ca, Mg, K and MOS. It was also identified cases of use of high doses of poultry litter as fertilizer, with high levels of soil surface, which can generate environmental problems.

Keywords: pH; Calcium; Potassium; Phosphor; Organic matter.

Resumen

El objetivo fue evaluar los atributos químicos de los suelos en un área con la adopción de sistemas integrados de producción agrícola de largo plazo, comparando el uso de la tierra con pastos y bosque nativo. El estudio se realizó en áreas manejadas por cinco establecimientos agrícolas del suroeste de Paraná, quienes adoptaron el Sistema de Integración Agropecuaria (ILP) y recibieron orientación sobre prácticas de manejo de suelos durante 12 años. En cada

localidad se muestrearon suelos bajo ILP, pastos (PV) y bosque nativo (MN) para determinar pH, Ca, Mg, K, P, saturación de bases (V%) y aluminio (m%) y contenido de materia orgánica del suelo (MOS). La adopción del sistema ILP proporciona niveles adecuados de atributos químicos del suelo, principalmente para pH, V%, m%, Ca, Mg, K y MOS. También se han identificado casos de uso de altas dosis de camada avícola como fertilizante, con altos niveles en superficie del suelo, que pueden generar problemas ambientales.

Palabras clave: pH; Calcio; Potasio; Fósforo; Materia orgánica.

1. Introdução

O cenário de degradação dos solos tem levado a busca por sistemas de produção sustentáveis, que harmonizem o aumento da produtividade vegetal e animal, com a preservação de recursos naturais (Balbino et al., 2011). A reversão da degradação do solo tem sido reportada aos manejos conservacionistas, como o sistema plantio direto e sistema integração lavoura-pecuária (ILP). A ILP pode ser definida como um sistema de produção onde há a utilização de uma mesma área com rotação de pastagens para uso animal e culturas agrícolas (Balbinot Junior et al., 2009; Macedo, 2009). Na literatura, autores como Carvalho et al. (2016), Conte et al. (2011), Ferreira et al. (2009), Loss et al. (2012), Macedo (2014) e Souza et al. (2009), e evidenciaram que o sistema ILP tem se mostrado uma alternativa de recuperação de pastagens degradadas com reflexos positivos para as lavouras anuais subsequentes, viabilizando a consolidação do plantio direto, através da ciclagem de nutrientes, do maior aporte de palha e do sistema radicular abundante das diferentes espécies vegetais utilizadas no sistema.

Em comparação aos sistemas de produção somente de grãos, na ILP a presença de animais altera as propriedades químicas do solo, dada a mudança na ciclagem de nutrientes (Anghinoni et al., 2011), devido o animal estar constantemente em movimento sobre o solo, e consumir a produção vegetal uniformemente distribuída e retorná-la desuniformemente (Assmann et al., 2002). Ainda, quando o ILP é manejado de forma errônea com pastejo excessivo, pode ocorrer a retirada excessiva de biomassa do solo, levando a perdas dos níveis de nutrientes e matéria orgânica do solo (MOS), comprometendo a manutenção da fertilidade do solo. Mas, a adoção de algumas práticas de manejo promovem a manutenção da qualidade química dos solos, principalmente as ações visando o incremento da produção primária dos vegetais, como a calagem do solo, a adubação das culturas e o ajuste da lotação animal nas pastagens visando equilíbrio produtivo do sistema, garantindo assim os níveis de nutrientes e

de MOS (Assmann & Assmann, 2002; Moraes, 2002).

Do ponto de vista da qualidade do solo sob ILP, o uso de diferentes culturas vegetais tanto para produção de grãos quanto forrageiras geram melhorias na fertilidade do solo. Isso decorre da intensificação da ciclagem de nutrientes principalmente pelo retorno de nutrientes através dos dejetos dos animais. Também as culturas em rotação, pela ação do seu sistema radicular ao explorar diferentes extratos no perfil do solo tem como consequência a melhoria na estrutura do solo, o maior sequestro de carbono, o aumento na capacidade de infiltração e de retenção de água (Macedo, 2014). Todavia, de acordo com Santos et al. (2011), as consequências positivas do sistema de ILP são dependentes da identificação regional de sistemas de produção de média e longa duração, que integrem a produção de grãos com a de pastagens perenes que predominam localmente, viabilizando assim a sustentabilidade ambiental e os melhores resultados econômicos da propriedade agrícola.

A região Sudoeste do Paraná possui 42 municípios e uma extensão territorial de 17.033,695 km² (Ipardes, 2020), compreendida entre as latitudes 25°28'S e 26°36'S e longitudes 53°59'O e 51°30'O e com ocorrência de clima Cfa e Cfb, conforme classificação de Köppen (Iapar, 2020). A atividade agropecuária é a base econômica da maioria dos municípios, com a produção de soja, milho, feijão, trigo, carnes, ovos, leite e madeira (Ipardes, 2009), onde 88% dos agricultores possuíam entre 20 a 30 hectares, com predomínio de agricultores familiares, com destaque para o sistema de ILP de grãos com pecuária leiteira, com cultivo de soja ou milho, para silagem ou grãos, no período estival e aveia e/ou azevém no período hibernal, para alimentação dos bovinos de leite (Perin et al., 2004).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar e avaliar atributos químicos de solos sob sistema de ILP de longa duração em estabelecimentos agropecuários do Sudoeste do Paraná, como forma de identificar os impactos da adoção desse sistema na fertilidade química dos solos.

2. Metodologia

O estudo foi realizado em cinco estabelecimentos agropecuários de agricultores familiares do Sudoeste do Paraná localizados nos municípios de Honório Serpa, Saudade do Iguçu, Vitorino, Pato Branco e Ampére, que adotam o sistema de ILP com a produção de grãos (soja, milho e/ou feijão) no período estival e pastagens anuais para bovinocultura de leite no período de hibernal. Estes estabelecimentos foram acompanhados pelo programa Redes de Referências da Agricultura Familiar a partir de 1998, recebendo orientações sobre

práticas de manejo de solo e uso de forrageiras em sistemas de ILP e em pastagem de verão (PV) visando a manutenção da qualidade dos solos. Deste modo, para este estudo, estas duas formas de manejo do solo foram avaliadas e ainda uma área não antropizada de mata nativa (MN) para fins de comparação.

A caracterização geral das áreas de ILP e PV, com informações sobre o histórico de uso e manejo do solo nas áreas, referente a três safras anteriores às avaliações consta na Tabela 1.

Tabela 1. Histórico de uso e manejo do solo nas áreas sob integração lavoura-pecuária (ILP) e pastagem de verão (PV) em cinco estabelecimentos agropecuários do Sudoeste do Paraná, em três diferentes safras.

Localidade	Manejo	Safr 1		Safr 2		Safr 3	
		Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Honório Serpa	ILP	Soja (PD)	aveia+azevém (CM)	milho silagem (PD)	aveia+azevém (CM)	Soja (PD)	aveia+azevém (PD)
	PV	coast-cross (PC)	não houve (SM)	coast-cross (SM)	aveia+azevém (SM)	coast-cross (SM)	aveia+azevém (SM)
Saudade do Iguauçu	ILP	milho silagem (PD)	aveia+azevém (CM)	milho silagem (PD)	aveia+azevém (CM)	Soja (PD)	aveia+azevém (CM)
	PV	Tifton 85 (SM)	Aveia (SM)	Tifton 85 (SM)	aveia (SM)	Tifton 85 (SM)	Aveia (SM)
Vitorino	ILP	Soja (PD)	Azevém (SM)	Soja (PD)	Azevém (SM)	milho silagem (PD) / feijão (PC)	aveia+azevém (CM)
	PV	Soja (PD)	Azevém (SM)	Soja (PD)	Azevém (SM)	coast-cross (PC)	Pousio (SM)
Pato Branco	ILP	milho silagem (PD)	aveia+azevém (PD)	feijão / feijão (PC)	aveia+azevém (PD)	Soja (PD)	aveia+azevém (PD)
	PV	milheto+sorgo (PC)	aveia+azevém (PD)	milheto+sorgo (PD)	aveia+azevém (PC)	milheto+sorgo (PD)	aveia+azevém (PD)
Ampére	ILP	milho silagem (PD)	Aveia (CM)	milho silagem / milho silagem (PD)	Aveia (CM)	milho silagem / soja (PD)	Aveia (CM)
	PV	Tifton 85 (SM)	Pousio (SM)	Tifton 85 (SM)	pousio (SM)	Tifton 85 (SM)	Pousio (SM)

Legenda: PD (plantio direto), PC (plantio convencional), CM (cultivo mínimo), SM (sem manejo - sobressemeadura sem revolvimento), + (plantio consorciado) e / (plantio seqüencial).

Fonte: dados obtidos junto a cinco estabelecimentos agropecuários do Sudoeste do Paraná.

Para a determinação dos atributos químicos em cada estabelecimento agropecuário, foram coletadas 10 subamostras para compor uma amostra composta de solo, nas camadas de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, nas áreas de ILP, PV e MN, totalizando 45 amostras. As amostras de solo foram coletadas entre os meses de setembro/outubro de 2010, coincidindo com o final do ciclo da cultura de inverno e antecedendo o plantio das espécies de

verão, perfazendo aproximadamente 12 anos de adoção de ILP.

Os atributos químicos analisados foram pH em CaCl₂ 1:2,5, teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) extraídos por KCl 1M, fósforo (P) e potássio (K) extraídos por Mehlich⁻¹, acidez potencial (H+Al) extraídos por Ca (OAc) 0,5 M pH 7,0. Com base nestes dados foram calculados a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTCpH7,0), a saturação por bases (V%) e por alumínio (m%). O teor de matéria orgânica do solo (MOS) foi determinado por digestão úmida. As metodologias utilizadas para a determinação destes atributos seguiram a metodologia de Pavan et al. (1992).

Em cada propriedade agrícola também se realizou, preliminarmente, o levantamento do tamanho das áreas agrícolas sob ILP e PV, juntamente com a caracterização da classe de solo e a granulometria predominante, (Tabela 2), bem como as principais práticas de manejo adotadas nas três últimas safras (2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010).

Tabela 2. Caracterização do tamanho das áreas sob integração lavoura-pecuária (ILP) e pastagem de verão (PV), da classe de solo e da fração granulométrica predominante dos solos das cinco estabelecimentos agropecuários do Sudoeste do Paraná.

Localidade	Área		Classe de solo	Argila* g kg ⁻¹
	Manejo	Hectares		
Honório Serpa	ILP	15,3	Neossolo Regolítico	707,8
	PV	1,5		
Saúde do Iguaçu	ILP	36,2	Neossolo Regolítico	657,7
	PV	10,5		
Vitorino	ILP	15,0	Cambissolo Háptico	624,8
	PV	2,0		
Pato Branco	ILP	20,0	Latosolo Vermelho	784,3
	PV	7,3		
Ampere	ILP	8,0	Nitossolo Vermelho	706,5
	PV	5,0		

*: média da camada de 0,00-0,20 m

Fonte: dados obtidos junto a cinco estabelecimentos agropecuários do Sudoeste do Paraná.

Os valores dos atributos químicos dos solos sob ILP, PV e MN foram interpretados em relação aos valores de referência propostos pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Estadual Paraná (SBCS-NEPAR, 2017), a fim de verificar a sua adequação ou não para fins da produção agropecuária, classificando-os os níveis como muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, sendo o nível alto referenciado como o nível adequado e nível médio como nível crítico, com exceção da saturação por alumínio que nível alto é tido como

inadequado. Dessa forma para os dados obtidos essa classificação funcionou como distinção do grau de qualidade do solo, na ausência de análise estatística, da mesma forma que seria feito pelos técnicos e produtores para categorizar as áreas.

3. Resultados e Discussão

Os resultados dos atributos químicos de solos dos cinco estabelecimentos agropecuários e seus diferentes manejos avaliados são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Os valores de pH observados nas diferentes profundidade da camada de 0,20 m dos solos sob ILP nos municípios de Honório Serpa, Saudade do Iguaçu e Vitorino apresentaram-se como alto ou muito alto, considerados adequados (SBCS-NEPAR, 2017), com exceção da camada de 0,10-0,20 m em Saudade do Iguaçu que apresentou um pH médio (Tabela 3). Este resultado mostra a atuação positiva da calagem nas áreas sob ILP realizada há 3 anos em Honório Serpa e Saudade do Iguaçu e há 1 ano em Vitorino (Tabela 5), concordando com Flores et al. (2008), que também evidenciaram a efetividade da aplicação superficial do calcário em diminuir a acidez na subsuperfície do solo ao longo do tempo. Em sistemas conservacionistas, a eficiência da correção da acidez do solo em subsuperfície deve-se aos ácidos hidrossolúveis de baixa massa molar, provenientes de decomposição da palhada das plantas, os quais aumentam a mobilidade no perfil do solo dos produtos originados da dissolução do calcário aplicado em superfície (Pavinato & Rosolem, 2008).

O menor valor de pH observado na camada de 0,10-0,20 m do solo sob ILP em Saudade do Iguaçu (Tabela 3) evidencia a reacidificação natural do solo devido, possivelmente, a pequena quantidade de calcário (100 kg ha^{-1}) e a elevada dose de N (1978 kg ha^{-1}) adicionada à sua superfície no triênio 2008/2009/2010 (Tabela 5). Todavia, este valor de pH não reflete uma condição química inadequada do solo, pois não está conjugado com restrições na saturação por alumínio (Tabela 3).

Nos municípios de Pato Branco e Ampere os valores de pH nos solos sob ILP também se apresentaram como médio, em todas as camadas avaliadas (Tabela 3), refletindo a reacidificação de toda a camada arável devido à última aplicação de calcário ter sido realizada no ano de 2000 (Tabela 5). Contudo, esta condição também não reflete em dificuldades no desenvolvimento radicular das espécies utilizadas no sistema ILP, pois a saturação por alumínio apresentou-se como muito baixa e baixa, com exceção da camada 0,10-0,20 m em Pato Branco, que foi considerada média (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de pH, saturação por bases, saturação por alumínio e capacidade de troca de cátions (CTC_{pH7,0}) de solos sob manejo de integração lavoura-pecuária (ILP) e pastagem de verão (PV) e mata nativa (MN) de cinco estabelecimentos agropecuários.

Localidade	----- 0,00-0,05 m -----			----- 0,05-0,10 m -----			----- 0,10-0,20 m -----		
	ILP	PV	MN	ILP	PV	MN	ILP	PV	MN
----- pH (CaCl ₂) -----									
H. Serpa	5,90 MA*	5,50 A	3,50 MB	5,90 MA	5,20 A	3,50 MB	5,00 A	5,10 A	3,60 MB
S. do Iguaçu	6,00 MA	5,50 A	6,00 MA	5,20 A	4,60 M	5,70 MA	4,60 M	4,30 B	5,70 MA
Vitorino	6,00 MA	5,50 A	5,00 A	6,10 MA	5,30 A	5,00 A	5,50 A	5,10 A	4,40 B
Pato Branco	4,60 M	4,40 B	4,10 B	4,60 M	4,30 B	4,10 B	4,50 M	4,30 B	3,90 MB
Ampére	4,90 M	5,00 A	5,80 MA	4,70 M	5,10 A	5,70 MA	4,60 M	5,20 A	5,50 A
----- Saturação por bases (%) -----									
H. Serpa	82,26 MA	75,64 MA	7,42 MB	76,04 MA	70,91 MA	4,28 MB	63,42 A	65,92 A	4,01 MB
S. do Iguaçu	80,66 MA	75,31 MA	85,39 MA	66,03 A	53,99 A	81,42 MA	53,25 A	41,65 M	81,23 MA
Vitorino	73,62 MA	73,69 MA	76,01 MA	80,87 MA	69,49 A	60,13 A	69,74 A	63,23 A	36,24 M
Pato Branco	52,65 A	41,22 M	16,05 B	45,48 M	36,22 M	8,61 MB	40,25 M	34,15 B	6,54 MB
Ampére	65,03 A	65,33 A	84,90 MA	59,12 A	68,39 A	80,01 MA	59,67 A	71,55 MA	77,24 MA
----- Saturação por alumínio (%) -----									
H. Serpa	0,00 MB	0,00 MB	72,18 MA	0,00 MB	0,00 MB	85,53 MA	0,00 MB	0,00 MB	84,62 MA
S. do Iguaçu	0,00 MB	0,00 MB	0,00 MB	0,00 MB	1,74 MB	0,00 MB	2,59 MB	8,38 B	0,00 MB
Vitorino	0,00 MB	0,00 MB	0,00 MB	0,00 MB	0,00 MB	0,00 MB	0,00 MB	0,00 MB	5,97 B
Pato Branco	2,49 MB	17,03 M	40,39 A	5,58 B	13,15 M	65,39 MA	10,68 M	25,38 A	73,70 MA
Ampére	0,90 MB	0,00 MB	0,00 MB	2,23 MB	0,00 MB	0,00 MB	2,78 MB	0,00 MB	0,00 MB
----- CTC (cmol _c d ⁻³) -----									
H. Serpa	15,22 A	17,24 A	24,25 MA	14,69 A	15,85 A	18,00 A	13,56 M	15,70 A	17,95 A
S. do Iguaçu	15,25 A	15,55 A	22,04 A	13,57 A	12,52 M	20,67 A	10,61 M	12,34 M	20,46 A
Vitorino	17,40 A	16,27 A	19,13 A	14,32 A	15,11 A	15,00 A	13,12 M	13,49 M	12,17 M
Pato Branco	12,63 M	11,11 M	17,20 A	12,27 M	11,36 M	15,80 A	12,05 M	10,16 M	15,45 A
Ampére	15,30 A	14,45 A	21,32 A	14,09 A	12,56 M	19,21 A	12,30 M	12,02 M	17,44 A

*Classe de interpretação dos parâmetros químicos para o Paraná, onde: MB=Muito Baixo, B=Baixo, M=Médio, A=Alto e MA=Muito Alto (SBCS-NEPAR, 2017).

Fonte: dados obtidos junto a cinco estabelecimentos agropecuários do Sudoeste do Paraná.

Tabela 4. Valores médios do teor de cálcio, magnésio, potássio, fósforo e teor de matéria orgânica de solos sob manejo de integração lavoura-pecuária (ILP) e pastagem de verão (PV) e mata nativa (MN) de cinco estabelecimentos agropecuários.

Localidade	----- 0,00-0,05 m -----			----- 0,05-0,10 m -----			----- 0,10-0,20 m -----		
	ILP	PV	MN	ILP	PV	MN	ILP	PV	MN
----- Fósforo (g dm ⁻³) -----									
H. Serpa	3,83 B	3,83 B	3,83 B	3,83 B	3,83 B	3,83 B	3,83 B	3,83 B	3,83 B
S. do Iguaçú	56,57 MA	56,57 MA	56,57 MA	56,57 MA	56,57 MA	56,57 MA	56,57 MA	56,57 MA	56,57 MA
Vitorino	13,25 MA	13,25 MA	13,25 MA	13,25 MA	13,25 MA	13,25 MA	13,25 MA	13,25 MA	13,25 MA
Pato Branco	19,24 MA	19,24 MA	19,24 MA	19,24 MA	19,24 MA	19,24 MA	19,24 MA	19,24 MA	19,24 MA
Ampére	73,71 MA	73,71 MA	73,71 MA	73,71 MA	73,71 MA	73,71 MA	73,71 MA	73,71 MA	73,71 MA
----- Potássio (cmol _c dm ⁻³) -----									
H. Serpa	0,65 MA	1,00 MA	0,45 A	0,48 MA	0,78 MA	0,25 A	0,40 A	0,63 MA	0,25 A
S. do Iguaçú	0,45 A	1,00 MA	0,98 MA	0,33 A	0,83 MA	0,58 MA	0,20 M	0,63 MA	0,23 A
Vitorino	0,25 A	0,53 MA	1,03 MA	0,15 M	0,25 A	0,98 MA	0,13 M	0,18 M	0,83 MA
Pato Branco	0,40 A	0,35 A	0,23 A	0,25 A	0,23 A	0,18 M	0,23 A	0,23 A	0,35 A
Ampére	0,58 MA	0,78 MA	1,00 MA	0,53 MA	0,70 MA	0,93 MA	0,38 A	0,60 MA	0,70 MA
----- Cálcio (cmol _c dm ⁻³) -----									
H. Serpa	8,09 MA	8,09 MA	8,09 MA	8,09 MA	8,09 MA	8,09 MA	8,09 MA	8,09 MA	8,09 MA
S. do Iguaçú	8,12 MA	8,12 MA	8,12 MA	8,12 MA	8,12 MA	8,12 MA	8,12 MA	8,12 MA	8,12 MA
Vitorino	7,89 MA	7,89 MA	7,89 MA	7,89 MA	7,89 MA	7,89 MA	7,89 MA	7,89 MA	7,89 MA
Pato Branco	4,35 A	4,35 A	4,35 A	4,35 A	4,35 A	4,35 A	4,35 A	4,35 A	4,35 A
Ampére	6,60 MA	6,60 MA	6,60 MA	6,60 MA	6,60 MA	6,60 MA	6,60 MA	6,60 MA	6,60 MA
----- Magnésio (cmol _c dm ⁻³) -----									
H. Serpa	3,78 MA	3,78 MA	3,78 MA	3,78 MA	3,78 MA	3,78 MA	3,78 MA	3,78 MA	3,78 MA
S. do Iguaçú	3,73 MA	3,73 MA	3,73 MA	3,73 MA	3,73 MA	3,73 MA	3,73 MA	3,73 MA	3,73 MA
Vitorino	4,67 MA	4,67 MA	4,67 MA	4,67 MA	4,67 MA	4,67 MA	4,67 MA	4,67 MA	4,67 MA
Pato Branco	1,90 A	1,90 A	1,90 A	1,90 A	1,90 A	1,90 A	1,90 A	1,90 A	1,90 A
Ampére	2,77 MA	2,77 MA	2,77 MA	2,77 MA	2,77 MA	2,77 MA	2,77 MA	2,77 MA	2,77 MA
----- Matéria orgânica (g dm ⁻³) -----									
H. Serpa	67,01 MA	73,71 MA	87,11 MA	57,63 MA	48,25 MA	60,31 MA	40,21 MA	48,25 MA	50,93 MA
S. do Iguaçú	60,31 MA	50,93 MA	86,09 MA	49,59 MA	37,53 MA	60,31 MA	33,51 A	26,80 A	53,61 MA
Vitorino	53,61 MA	40,21 MA	67,01 MA	33,51 A	41,55 MA	53,61 MA	26,80 A	36,19 MA	40,21 MA
Pato Branco	53,61 MA	50,93 MA	72,37 MA	46,91 MA	26,80 A	56,29 MA	46,91 MA	40,21 MA	50,93 MA
Ampére	40,21 MA	56,29 MA	67,01 MA	40,21 MA	33,51 A	53,61 MA	30,83 A	30,83 A	48,25 MA

*Classe de interpretação dos parâmetros químicos para o Paraná, onde: MB=Muito Baixo, B=Baixo, M=Médio, A=Alto e MA=Muito Alto (SBCS-NEPAR, 2017)

Fonte: dados obtidos junto a cinco estabelecimentos agropecuários do Sudoeste do Paraná.

Tabela 5. Histórico de adubação e calagem e carga animal nas áreas sob integração lavoura-pecuária (ILP) e pastagem de verão (PV) nas cinco estabelecimentos agropecuários do Sudoeste do Paraná.

Localidade	Manejo	N	P ₂ O ₅ Kg ha ^{-1****}	K ₂ O	Calagem Kg ha ⁻¹	Período da Calagem	Carga animal kg Pv ha ^{-1*****}
Honório Serpa	ILP	233	225	225	1650 (superfície)	2007/2008	345
	PV*	223	93	152	4100 (incorporado)	2007/2008	3520
S. Iguaçu	ILP**	1978	1862	1617	100 (superfície)	2007/2008	1176
	PV*/**	1710	1800	1575	100 (superfície)	2007/2008	4053
Vitorino	ILP	192	262	262	2500 (superfície)	2009/2010	733
	PV*	156	190	190	2500 (superfície)	2009/2010	5500
Pato Branco	ILP	416	385	385	4100	2000	1000
	PV	438	476	252	-	-	2740
Ampére	ILP**	1465	1040	816	NI	2000	1856
	PV*	749	123	75	-	-	2970

*: Pousio noturno dos animais durante o todo ano; **: Uso de cama de aviário; ***: Somatório de NPK utilizada no triênio 2008/2009/2010; ****: Valor obtido pela soma estimada do peso dos bovinos em pastejo, dividido pela área total em pastejo durante ciclo de pastejo de inverno para ILP e verão para PV na safra 2009/2010; NI: Não informado

Fonte: dados obtidos junto a cinco estabelecimentos agropecuários do Sudoeste do Paraná.

A menor disponibilidade ou a indisponibilidade do alumínio observada em todas as áreas sob ILP nas cinco estabelecimentos agropecuários deve-se possivelmente a calagem realizadas nos anos anteriores a avaliação e aos teores alto ou muito alto de MOS (SBCS-NEPAR, 2017) em todos os locais, observados até profundidade de 0,20 m (Tabela 4). Segundo Santos et al. (2011) e Franchini et al. (1999), o acúmulo de MO em solos sob manejo conservacionista promove uma menor atividade iônica do alumínio, que pode ser complexado pelo carbono dissolvido na solução do solo, diminuindo sua toxicidade.

Nas áreas sob PV, se observou comportamento similar às áreas sob ILP em relação ao pH, isto é, as áreas que receberam calcário recentemente, localizadas em Honório Serpa, Saudade do Iguaçu e Vitorino, apresentaram valores de pH muito alto e alto (SBCS-NEPAR, 2017), assim como apresentaram valores nulos de saturação por alumínio até a profundidade de 0,20 m, exceto no município de Saudade do Iguaçu, que apresentou a partir da camada de 0,00-0,05 m, um valor de pH médio e baixo, e baixo e muito baixo de m% (Tabela 3).

Possivelmente, esta reacidificação deve-se a vários fatores como a pouca quantidade de calcário adicionada na área em 2007/2008 (100 kg ha^{-1}), somada a acidificação acarretada pelo uso de fertilizantes nitrogenados em excesso no triênio 2008/2009/2010 ($1710 \text{ kg N ha}^{-1}$) e a maior deposição de resíduos orgânicos de bovinos que permaneceram em pousio noturno na área durante todo o ano da safra 2009/2010 ($4053 \text{ kg PV ha}^{-1}$) (Tabela 4). O nitrogênio ao ser adicionado ao solo não saturado, seja através de fonte sintética ou orgânica, passa pelo processo de nitrificação microbiana, o qual envolve a liberação de 2 íons H para solução do solo a cada molécula de amônio transformada em nitrato (Brady & Weil, 2013).

Nos municípios onde a calagem foi realizada há 10 anos se observaram comportamentos distintos entre as áreas sob PV. Enquanto que em Pato Branco se observou um pH baixo na camada de 0,00-0,20 m e saturação por alumínio médio na camada 0,00-0,10 m e alto na camada 0,10-0,20, em Ampere o solo sob PV apresentou pH alto e saturação por alumínio muito baixo em todas as camadas avaliadas (Tabela 3). Este resultado diverge do esperado, que era a similaridade dos valores de pH e saturação por alumínio entre as áreas de PV, devido principalmente ao longo tempo sem calagem em ambas as áreas dos estabelecimentos agropecuários, somado ao fato que em Ampere, o solo sob PV recebeu uma maior dose de N (749 Kg ha^{-1}) via fertilizante químico, enquanto em Pato Branco o solo sob PV recebeu 438 Kg ha^{-1} de N. Assim como recebeu, possivelmente, uma menor deposição de resíduos vegetais em sua superfície por adotar o pousio na safra 2009/2010, enquanto que em Pato Branco adotou-se o manejo com aveia+azevém neste mesmo período (Tabela 5). Contudo, apesar do manejo adotado, os valores obtidos em Ampere devem-se a fertilidade química natural do solo, um Nitossolo vermelho, que em condições não antropizadas (MN) apresentou um pH muito alto e uma m% muito baixa ao longo dos 0,20 m de profundidade (Tabela 3). Todavia, assim como para as áreas de ILP, as condições químicas de alguns solos sob PV, como baixo pH e elevada m%, são ainda adequadas ao desenvolvimento radicular das plantas utilizadas nesse sistema de manejo, devido também aos teores médios a altos de MO, com exceção apenas da camada 0,10-0,20 m em Pato Branco, conforme Tabela 3.

É importante ressaltar que, o pH dos solos sob ILP foram superiores aos solos sob PV, nos municípios de Honório Serpa, Saudade do Iguazu e Vitorino, até a profundidade de 0,10 m, tornando-se similares na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 3). Este resultado deve-se possivelmente à maior deposição de resíduos vegetais pelas diferentes culturas utilizadas em rotação e/ou consorcio no solo sob ILP (Tabela 1), os quais se somaram ao efeito do calcário. Esta possibilidade converge com Franchini et al. (1999) que evidenciaram uma maior elevação do pH a medida em que se adicionava maior quantidade de resíduos vegetais ao

solo, devido a reação, no complexo de troca do solo, do H e Al (principais cátions ácidos do solo) por Ca, Mg e K presentes no resíduos vegetais e/ou a capacidade de neutralização de íons H através da reação de adsorção na superfície do material vegetal e a protonação de ácidos orgânicos.

Além da presença de alumínio tóxico no complexo de troca, que pode acarretar um sistema radicular atrofiado e com menor comprimento nas diferentes plantas (Brady & Weil, 2013), a deficiência de cálcio no solo também é considerado um fator restritivo ao desenvolvimento radicular (Costa et al., 1999). Nesse contexto se observa que, mesmo nos solos sob ILP e PV em que os valores de pH estavam baixos, os teores de Ca variaram de altos a muito altos (SBCS-NEPAR, 2017), ao longo da camada de 0,00-0,20 m (Tabela 4). Destaca-se que na camada de 0,00-0,05 m os teores de Ca foram superiores a $7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nos solos sob ILP e PV que receberam calagem recentemente (Honório Serpa, Saudade do Iguçu e Vitorino). Todavia, devido a maior dosagem adicionada em Honório Serpa e Vitorino, os teores de Ca se mantiveram acima de $6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e de $5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m respectivamente, enquanto que em Saudade do Iguçu, o qual recebeu uma dosagem muito inferior de calcário, os teores de Ca oscilaram entre $4\text{-}5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 0,05-0,10 m e em torno de $3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 4), possivelmente devido à alta dosagem de cama de aviário utilizada e os teores de Ca contido nesta. Nas demais áreas que não receberam calagem recentemente, localizadas em Pato Branco e Ampere, os teores médios a elevados de Ca, principalmente nas camadas superficiais das áreas sob ILP (Tabela 4), devem-se possivelmente ao efeito positivo da decomposição da palhada das culturas utilizadas (Pavinato & Rosolem, 2008; Cunha et al., 2010; Costa et al., 2015a), somadas à reciclagem promovida pelo pastejo dos animais no período de inverno, os quais transformaram grande parte da biomassa aérea vegetal em dejetos, incrementando a fertilidade do solo (Lang et al., 2004), bem ao cálcio originado das dietas alimentares fornecidas aos bovinos através da suplementação mineral e no caso de Ampere a presença de Ca na cama de aviário utilizada.

Em relação ao Mg, foram observados teores alto e muito alto (SBCS-NEPAR, 2017) em todas as áreas de ILP e PV avaliadas, inclusive na camada mais profunda (Tabela 4) devido, possivelmente, a maior mobilidade desse elemento em relação ao Ca (Brady & Weil, 2013), com exceção apenas de Pato Branco que apresentou nível médio na camada 0,00-0,20 m na PV e 0,05-0,20 m na ILP. Loss et al. (2012), Cunha et al. (2010) e Flores et al. (2008) também observaram elevados teores de Mg e Ca em solos sob ILP, atribuindo o incremento destes nutrientes nas camadas superficiais do solo à recente calagem, enquanto que em

profundidade, esse incremento foi associado à movimentação dos íons por ácidos orgânicos de baixo peso molecular, liberados pela decomposição das plantas de cobertura e/ou pela deposição de dejetos animais nessas áreas, conforme já mencionado anteriormente.

A importância do manejo no incremento da fertilidade química dos solos sob ILP e PV se mostra mais evidente quando se observa as diferenças nos teores de Ca em relação aos solos sob MN. Nos municípios onde naturalmente este nutriente é baixo ($<2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ao longo de toda a camada de 0,00-0,20 m, como em Honório Serpa (Neossolo Regolítico) e Pato Branco (Latosolo vermelho), observa-se que os solos sob ILP e PV promoveram um incremento neste teor, principalmente abaixo de 0,05 m. Isto é, em Honório Serpa os solos sob ILP e PV, os quais receberam calagem em 2007/2008, apresentaram respectivamente, um teor de Ca que foi 18 vezes maior na camada de 0,00-0,05 m, 58 a 66 vezes maior na camada de 0,05-0,10 m e 33 a 36 vezes maior na camada de 0,10-0,20 m em relação às mesmas camadas sob o solo de MN. Em Pato Branco, que recebeu calagem em 2000, os solos sob ILP e PV apresentaram respectivamente, um teor de Ca que foi 2 a 3 vezes maior na camada de 0,00-0,05 m, 4 a 7 vezes na camada de 0,05-0,10 m e 6 a 10 vezes maior na camada de 0,10-0,20 m em relação às mesmas camadas sob o solo de MN (Tabela 4). Comportamento similar também foi apresentado para os teores de Mg.

Os resultados obtidos mostram principalmente nos sistemas sob ILP, além do efeito da calagem no solo, a atuação positiva das diferentes espécies vegetais utilizadas, as quais promoveram uma ciclagem desses elementos, seja pela decomposição de sua biomassa aérea ou desenvolvimento de seu sistema radicular, somado ao possível acréscimo da atividade da meso e macrofauna edáfica, mediante deposição de excrementos dos bovinos nestas áreas, que também podem ter auxiliado no incremento de nutrientes em profundidade. Resultados semelhantes foram abordados por Costa et al. (2015b), Anghinoni et al. (2013), Santos et al. (2011), Flores et al. (2008) e Edwards et al. (1988).

Por outro lado, nos solos que naturalmente são férteis como o Neossolo regolítico em Saudade do Iguaçu e o Nitossolo vermelho em Ampere, os quais apresentaram teores de Ca e de Mg muito altos ou altos sob MN até a profundidade de 0,20 m, observa-se a manutenção deste nutriente sob manejo agrícola, seja ILP ou PV (Tabela 4), indicando que, independentemente do tipo de solo, aqueles que adotam práticas agrícolas, como cobertura permanente do solo, rotação e/ou sucessão de culturas e presença de bovinos por alguns períodos do ano, não diminuem sua qualidade química em curto prazo. Comportamento similar também foi observado em Vitorino onde o Cambissolo háplico sob MN apresentou um teor de Ca muito alto até a profundidade de 0,05 m e alto na camada de 0,05-0,20 m.

Em relação ao K, pode-se observar que em Honório Serpa, Saudade do Iguaçu, Pato Branco e Ampere, tanto o solo sob ILP como PV apresentaram teores considerados altos a muito altos (SBCS-NEPAR, 2017) até a profundidade de 0,20 m, exceto na camada de 0,10-0,20 m do solo sob ILP em Saudade do Iguaçu (Tabela 4). Importante destacar todos os solos sob MN nos cinco municípios apresentaram teores de K que variaram, naturalmente, de altos a muito altos até a profundidade de 0,20 m (Tabela 4), ou seja, os sistemas de manejo proporcionaram manutenção ou incremento deste nutriente tanto nas áreas sob ILP como PV. De acordo com Ferreira et al. (2009) e Loss et al. (2012), o sistema ILP, se bem manejado, aumenta os teores de K no solo devido a presença dos animais, os quais promovem a redistribuição do nutriente pelo consumo, via desfolhação da pastagem, e pelo seu retorno para o solo, via excreção. A importância da presença de animais e dos resíduos gerados por eles na reciclagem do K mostra-se mais marcante nas áreas sob PV, os quais apresentaram os teores mais elevados deste nutriente se comparados às áreas de ILP (Tabela 4). Isto ocorreu possivelmente devido a maior lotação animal e a sua permanência noturna nestas áreas quando do uso diurno de pastejos nas áreas de ILP, conforme se observa na Tabela 5, promovendo a transferência do K da área de ILP para PV, além da exportação de nutrientes pelos grãos nas áreas de ILP.

Pelo fato do K ser um nutriente muito móvel, já que não faz parte da estrutura da planta (Brady & Weil, 2013), a importância dos animais na manutenção ou incremento deste nutriente no solo se evidencia ainda mais quando se observa as diferenças entre o solo sob MN e os solos sob ILP e PV em Vitorino. Nesta unidade produtiva, o solo sob MN (Cambissolo háplico) apresenta naturalmente teor muito alto de K na camada de 0,00-0,20 m, todavia, com a adoção do ILP e PV, este nutriente teve seu teor diminuído para valores médios na camada de 0,10-0,20 m (SBCS-NEPAR, 2017). Considerando o histórico da área (Tabela 1), supõe-se que a elevada carga animal (5500 kg ha⁻¹ de peso vivo), somada ao pousio noturno dos animais na área, tenha sido determinante para esse resultado. Entretanto, além da menor carga animal, o que gerou menor retorno dos dejetos na área sob ILP (733 kg ha⁻¹ de peso vivo), a sucessão de cultivos (milho silagem/feijão e aveia+azevém) adotados na safra 2009/2010 (Tabela 1), também pode ter contribuído para a maior exportação deste nutriente do solo.

A influência do manejo na dinâmica do K no solo parece ficar mais evidente quando se observa seus teores sob MN, ILP e PV em Pato Branco. Isto é, enquanto que no solo sob MN (Latossolo vermelho) o teor de K foi considerado alto e médio nas camadas avaliadas, nas áreas sob o manejo ILP e PV, no qual os bovinos não permaneceram no período da noite

na área, observou-se um incremento deste nutriente na camada de 0,00-0,05 m e a manutenção do teor médio em profundidade (Tabela 4). Esse resultado indica que a adoção de plantio direto de soja e aveia+azevém no solo sob ILP e o plantio direto de milho+sorgo e aveia+azevém no solo sob PV na safra 2009/2010 (Tabela 1), favoreceu o incremento deste nutriente em superfície e manteve o nível nas camadas abaixo de 0,05 m (Tabela 4). Resultados positivos do manejo do solo no incremento de K em áreas sob ILP também foram observados por Loss et al. (2012) e Silva et al. (2011). A maior dose de K utilizada na adubação química do solo sob ILP (385 kg ha⁻¹ de K₂O) em relação à área sob PV (252 kg ha⁻¹ de K₂O), somada a possível menor exportação desse elemento pela cultura da soja, pode ter ocasionado os maiores valores do K na área sob ILP, mesmo este tendo apresentado uma menor carga animal (1000 kg ha⁻¹ de peso vivo) em relação à área sob PV com 2740 kg ha⁻¹ de peso vivo (Tabela 5).

Quando se avalia o teor de P (Tabela 4), se verifica que em Honório Serpa, os valores obtidos no solo sob ILP foram baixo e muito baixos até a profundidade de 0,20 m, enquanto que no solo sob PV o teor foi considerado muito alto na camada de 0,00-0,05 m, médio na camada de 0,05-0,10 m e baixo na camada de 0,10-0,20 m. Este resultado deve-se, possivelmente ao pousio noturno dos animais na área de PV e à sua maior carga animal, cerca de 10 vezes superior à área sob ILP (Tabela 5) e com isso aumentando a deposição de dejetos animais sobre a área, somado a menor exportação desse nutriente pelo cultivo do coast-cross no verão de 2009/2010 em relação a cultura da soja adotada na área sob ILP (Tabela 4). Considerando a fertilidade natural do solo sob MN, o ILP e o PV promoveram respectivamente, a perda e o incremento deste nutriente nos primeiros 0,10 m de profundidade (Tabela 4).

Em Saudade do Iguaçu, os teores de P, segundo classificação da SBCS-NEPAR (2017), foram muito altos na primeira camada do solo sob ILP e PV, decrescendo seus níveis respectivamente, para médio e baixo na camada de 0,05-0,10 m e muito baixo e baixo na camada de 0,10-0,20 (Tabela 4). Naturalmente, o solo sob MN apresenta um teor alto de P na camada de 0,00-0,05 m, diminuindo seus teores para níveis muito baixos abaixo desta camada (Tabela 4). Portanto, o elevado teor de P observado na camada de 0,00-0,05 m do solo sob ILP e PV (em torno de 6,5 vezes superior ao solo de MN) se justifica pelo uso da cama de aviário nessas áreas, com aplicações de 1862 kg ha⁻¹ e 1800 kg ha⁻¹ respectivamente de P₂O₅, nos solos sob ILP e PV no acumulado das três safras (Tabela 5). Este excesso na superfície dos solos sob ILP e PV pode ser motivo de preocupação ambiental, por conta da possibilidade

de escoamento quando ocorrer uma chuva intensa, acarretando, conseqüentemente, a contaminação das águas superficiais do entorno.

O valor mais elevado de P na camada de 0,05-0,10 m do solo sob ILP em relação ao PV deve-se, possivelmente, ao cultivo mínimo realizado para a implantação da aveia+azevém da safra 2009/2010 (Tabela 1), associado ao maior desenvolvimento radicular promovido por este consórcio de plantas, o que pode ter facilitado a incorporação de parte desse nutriente em profundidade. De toda forma, Adami (2012) sugere que em solos sob ILP, a aplicação da cama de aviário deve coincidir com os períodos de ativo crescimento das culturas a fim de combinar a máxima produtividade agrônômica com o mínimo de perdas por escoamento superficial, já que a maior liberação de P ocorre durante os primeiros 60 dias após aplicação do adubo orgânico. Ainda, como destaca Favaretto (2019), cuidados devem ser tomados com em relação aos níveis de P no solo e possível transporte para o meio aquático, dado o potencial de eutrofização dos recursos hídricos.

Diferentemente do que foi evidenciado para o K em Saudade do Iguaçu, a maior lotação animal no solo sob PV (4053 kg ha⁻¹ peso vivo) em relação ao solo sob ILP (1176 kg ha⁻¹ peso vivo) na safra de 2009/2010 (Tabela 4) não acarretou em maiores valores P ao longo dos 0,20 m (Tabela 4), resultado que deve ser melhor investigado.

Em Vitorino, a área sob ILP apresentou um teor de P muito alto na camada de 0,00-0,05 m, enquanto que em profundidade seus teores diminuíram para médio (0,05-0,10 m) e baixo (0,10-0,20 m). O solo sob PV apresentou um teor médio na camada de 0,00-0,05 m, baixo para camada 0,05-0,10 m e muito baixo para a camada subsequente (Tabela 4). Ambas as áreas receberam doses similares de P via adubação química, entretanto, o solo sob PV apresentou uma maior lotação animal (5500 kg ha⁻¹) em relação ao solo sob ILP (300 kg ha⁻¹), conforme Tabela 5. Contudo, a maior deposição de dejetos na área sob PV não promoveu maiores teores de P, como mostrado anteriormente, possivelmente devido à menor biomassa vegetal desta área na safra 2009/2010, principalmente no inverno quando o solo ficou em pousio, o que possivelmente desfavoreceu a ciclagem deste nutriente, diferentemente do solo sob ILP, que através do consórcio aveia+azevém foi mais promissor na disponibilização deste nutriente em superfície. Este resultado concorda com Tiecher et al., (2012) que também observaram uma menor ciclagem do P em sistemas de uso que adotaram o pousio quando comparadas àquelas que adotaram o uso da aveia preta. Por outro lado, ambos os sistemas de manejo acarretaram melhorias nos teores de P, principalmente na camada de 0,00-0,05 m, quando observados os teores apresentados no solo sob MN, os quais foram muito baixos ao longo dos 0,20 m (Tabela 4).

Em Pato Branco e Ampere, os solos sob MN (respectivamente Latossolo e Nitossolo) apresentam teores de P baixos e muito baixos na profundidade de 0,20 m. Todavia, quando adotado o manejo de ILP observa-se incremento deste nutriente para níveis altos a muito altos, exceto na camada de 0,10-0,20 m em Pato Branco, que apresentou nível médio (Tabela 4). O teor quatro vezes superior de P no solo sob ILP em Ampere em relação à Pato Branco deve-se, possivelmente, a um somatório de fatores como o uso da cama de aviário e maior lotação animal (Tabela 5), associado a maior deposição da biomassa das espécies utilizadas no manejo ao longo do triênio (Tabela 1), o que fez com que o teor disponibilizado fosse muito alto, principalmente até a camada de 0,10 m (Tabela 4). Nos solos sob PV, o principal incremento de P ocorreu na camada de 0,00-0,05 m, onde os níveis passaram a alto em Pato Branco e a médio em Ampere (Tabela 4). O menor teor de P apresentado em Ampere pode ser consequência da adoção do pousio nesta unidade produtiva (Tabela 1) o que pode ter influenciado na menor disponibilização deste nutriente na camada mais superficial do solo.

O incremento da fertilidade nas áreas sob ILP também se destaca ao se analisar o V% nas diferentes camadas do solo, principalmente nos estabelecimentos agropecuários onde este atributo era naturalmente baixo, como no caso de Honório Serpa, em que se observou um V% menor que 8% na camada de 0,00-0,05 m e menor que 5% nas camadas subjacentes (Tabela 3). Quando adotado o manejo ILP e PV, o V% atingiu valores superiores a 70% nas primeiras camadas do solo, considerado muito alto segundo (SBCS-NEPAR, 2017), e teor alto na camada de 0,10-0,20 m. Em Pato Branco, o solo sob MN apresentava um V% inferior a 17% na camada de 0,00-0,05 m (baixo) e inferior a 9% nas camadas mais profundas (muito baixo), com equilíbrio entre a disponibilidade de Ca, Mg e K. Quando adotado o manejo de ILP a camada de 0,00-0,05 m apresentou um V% alto enquanto que as camadas abaixo apresentaram um V% médios. Nas demais áreas de ILP (Saudade do Iguaçu, Vitorino e Ampere), o V% manteve-se entre muitos altos e altos, ou seja, muito próximos aos teores apresentados sob MN nestes estabelecimentos agropecuários. Com exceção da camada 0,10-0,20 m na PV em Pato Branco, as demais áreas manejadas sob ILP e PV não apresentaram valores inferiores ao nível médio, que poderia restringir a produtividade das culturas a serem exploradas.

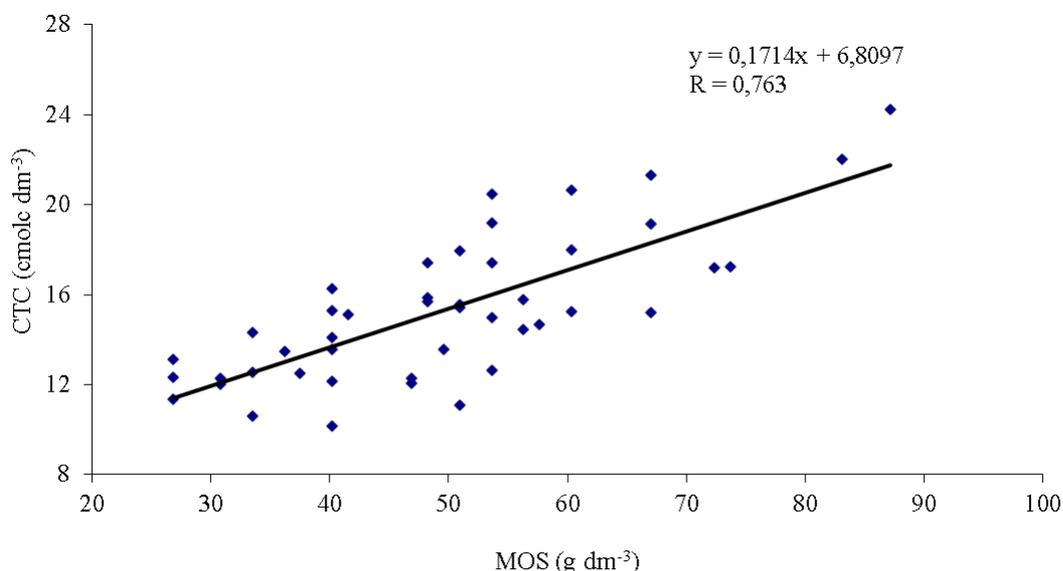
O incremento ou manutenção da fertilidade química dos solos sob ILP concordam com os observados por Costa et al. (2015a) e Martins et al. (2014), que atribuíram o acúmulo dos nutrientes ao longo do perfil à diminuição dos processos erosivos, à deposição de maior biomassa na superfície do solo e à capacidade de ciclagem desses sistemas. Além disso,

Balbino et al. (2011) mencionam que a melhoria nas propriedades químicas dos solos sob ILP também deve-se ao acúmulo de MOS nessas áreas.

Nesse contexto, os teores de MOS apresentados nos diferentes estabelecimentos agropecuários que adotaram o ILP não mostram níveis baixos em nenhuma das camadas avaliadas (Tabela 4). Entretanto, é na camada mais superficial do solo (0,00-0,05 m) que se observam os níveis mais elevados, decrescendo em profundidade. Comportamento similar foi apresentado pelos solos sob MN, onde houve um decréscimo do teor de MOS em profundidade, embora seus teores fossem bem mais elevados. Os maiores teores de MOS na área natural devem-se ao maior aporte de resíduos vegetais mais lignificados em comparação as plantas cultivadas, somado à ausência de atividades antrópicas (Bezerra et al., 2013; Braida & Reichert, 2014; Costa Junior et al., 2011). Por outro lado, nos sistemas sob ILP, a palhada e o sistema radicular das gramíneas utilizadas, também podem ter proporcionado um aumento dos ácidos húmicos do solo, por possuírem maior conteúdo de lignina, ocasionando uma decomposição mais lenta desses resíduos, favorecendo assim os elevados teores de MOS observados na sua superfície, conforme também observado por Bezerra et al. (2013).

A presença de teores de MOS considerados altos e muito altos em todas as localidades e profundidades, proporcionou níveis altos ou médios de CTC (tabela 3), dada a alta correlação positiva entre MOS e a CTC, conforme demonstra a Figura 1.

Figura 1. Correlação entre os teores de matéria orgânica do solo (MOS) e capacidade de troca de cátions (CTC), de solos de cinco estabelecimentos agropecuários, sob integração lavoura-pecuária (ILP), pastagem de verão (PV) e vegetação nativa (MA), nas camadas de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade.



Fonte: dados obtidos junto a cinco estabelecimentos agropecuários do Sudoeste do Paraná.

Como a MOS é o principal agente formador da CTC em solos tropicais e subtropicais responsável por 70 a 90% das cargas negativas (Sá et al., 2019), melhorando a retenção dos cátions no solo especialmente os nutrientes utilizados nas fertilizações, influencia na ciclagem de nutrientes e sua presença deve ser almejada em todos os sistemas conservacionistas.

4. Considerações Finais

A adoção do sistema de integração lavoura-pecuária nos diferentes estabelecimentos agropecuários do Sudoeste do Paraná manteve ou incrementou os níveis de atributos químicos solos, principalmente pH, V%, Ca, Mg e K, demonstrando a importância de calagem, adubações e manejo adequado de palhada no ILP;

As práticas agrícolas adotadas no ILP não promoveram o decréscimo da matéria orgânica do solo;

Nos estabelecimentos onde se adota o uso de cama de aviário, deve-se reavaliar as dosagens aplicadas visando o controle do excesso de disponibilidade de P e K na superfície do solo, especialmente o P dada a sua relação com problemas ambientais.

Sugere-se a realização de novos estudos em sistemas de integração lavoura pecuária, especialmente os sistemas intensivos de produção de grãos e leite, visando compreender a dinâmica de transferência de nutrientes entre as diferentes áreas manejadas.

Agradecimentos

Ao Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR-EMATER e aos agricultores colaboradores do Programa Redes de Referência para a Agricultura Familiar, pelo apoio à pesquisa.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e a Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

Referências

Adami, P. F. (2012). *Intensidades de pastejo e níveis de cama de aviário em sistema de integração lavoura-pecuária* (Tese) (111). UFPR, Curitiba.

Anghinoni, I., Carvalho, P. C. D. F., Valadão, S. E., & Costa, G. A. (2013). Abordagem sistêmica do solo em Sistemas Integrados de Produção Agrícola e Pecuária no subtropical brasileiro. *Tópicos em Ciência do Solo*, 8(2), 325–380.

Anghinoni, I., Moraes, A., Carvalho, P. C. F., Souza, E. D., Conte, O., & Lang, C. R. (2011). Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. In A. F. Fonseca, E. F. Caires, & G. Barth (Orgs.), *Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto*. 1–31. Ponta Grossa: AEACG/Inpag.

Assmann, T. S., & Assmann, A. L. (2002). Manejo da biomassa e rotação de culturas no sistema de integração lavoura-pecuária. In N. Mello & T. S. Assmann (Orgs.), *Anais do I Encontro de Integração Lavoura-Pecuária do Sul do Brasil* (p. 85–102). Pato Branco: CEFET-PR.

Assmann, T. S., Cassol, L. C., & Assmann, A. L. (2002). Manejo da fertilidade do solo (ciclagem de nutrientes) em sistemas de integração lavoura-pecuária. In Nilvânia Aparecida de Mello & T. S. Assmann (Orgs.), *Anais do I Encontro de Integração Lavoura-Pecuária do*

Sul do Brasil, 61–84. Pato Branco: CEFET-PR.

Balbino, L. C., Cordeiro, L. A. M., Porfírio-da-Silva, V., Moraes, A. de, Martínez, G. B., Alvarenga, R. C., Galerani, P. R. (2011). Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(10). <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000001>

Balbinot Junior, A. A., Moraes, A. de, Veiga, M. da, Pelissari, A., & Dieckow, J. (2009). Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciência Rural*, 39(6), 1925–1933. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000107>

Bezerra, R. P. M., Loss, A., Pereira, M. G., & Perin, A. (2013). Formas de carbono em latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(6), 2637. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6p2637>

Brady, N. C., & Weil, R. (2013). Elementos da natureza e propriedades do solo. In *Elementos da natureza e propriedades do solo* (3a ed.), (716). Porto Alegre: Bookman.

Braida, J. A., & Reichert, J. M. (2014). Matéria Orgânica e comportamento mecânico para fins de manejo de solo. In Luiz Fernando Carvalho Leite, G. A. Maciel, & A. S. F. Araújo (Orgs.), *Agricultura Conservacionista no Brasil*, 309–339. Brasília, DF: Embrapa.

Carvalho, J. dos S., Kunde, R. J., Stöcker, C. M., Lima, A. C. R., & Silva, J. L. S. (2016). Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(9), 1131–1139. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900012>

Conte, O., Wesp, C. L., Anghinoni, I., Carvalho, P. C. F., Levien, R., & Nabinger, C. (2011). Densidade, agregação e frações de carbono de um argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(2), 579–587. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200027>

Costa, A., Rosolem, C. A., & Torres, H. (1999). Distribuição de raízes de leguminosas em função de alterações nas características químicas e física em solo do Paraná. In *Anais do*

Workshop sobre sistema radicular: metodologias e estudo de casos, 191–202. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros.

Costa Junior, C., Piccolo, M. C., Siqueira Neto, M., Camargo, P. B. de, Cerri, C. C., & Bernoux, M. (2011). Carbono total e $\delta^{13}\text{C}$ em agregados do solo sob vegetação nativa e pastagem no bioma cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(4), 1241–1252. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400017>

Costa, N. R., Andreotti, M., Lopes, K. S. M., Yokobatake, K. L., Ferreira, J. P., Pariz, C. M., Longhini, V. Z. (2015a). Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(3), 852–863. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140269>

Costa, N. R., Andreotti, M., Ulian, N. A., Costa, B. S., Pariz, C. M., Cavasano, F. A., & Teixeira Filho, M. C. M. (2015b). Produtividade da soja sobre palhada de forrageiras semeadas em diferentes épocas e alterações químicas no solo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, 10(1), 8–16. <https://doi.org/10.5039/agraria.v10i1a3842>

Cunha, P. C. R., Silveira, P. M., Stone, L. F., & Santos, G. G. (2010). Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 40(3). <https://doi.org/10.5216/pat.v40i3.5841>

Edwards, W. M., Norton, L. D., & Redmond, C. E. (1988). Characterizing Macropores that Affect Infiltration into Nontilled Soil. *Soil Science Society of America Journal*, 52(2), 483–487. <https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200020033x>

Favaretto, N. (2019). Aplicação de resíduos orgânicos na agricultura: cuidados com a qualidade da água e do solo. In O. J. Bertol, A. Colozzi Filho, G. M. C. Barbosa, J. B. Santos, & M. D. F. Guimarães (Orgs.), *Manual de manejo e conservação do solo e da água para o estado do paraná* (p. 226–234). Curitiba: SBCS-NEPAR.

Ferreira, E. V. O., Anghinoni, I., Carvalho, P. C. F., Costa, S. E. V. G. A., & Cao, E. G. (2009). Soil potassium content in an integrated crop-livestock system under no-tillage with

different grazing intensities. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(6), 1675–1684. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832009000600016>

Flores, J. P. C., Cassol, L. C., Anghinoni, I., & Carvalho, P. C. F. (2008). Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(6), 2385–2396. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600017>

Franchini, J. C., Malavolta, E., Miyazawa, M., & Pavan, M. A. (1999). Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23(3), 533–542. <https://doi.org/10.1590/s0100-06831999000300006>

Iapar. (2020). Atlas Climático do Paraná. Classificação Climática (Köppen). Recuperado de <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=2533>

Ipardes. (2009). Sudoeste Paranaense: especificidades e diversidades. Recuperado de [http://www.ipardes.pr.gov.br/sites/ipardes/arquivos_restritos/files/documento/2019-09/Sudoeste Paranaense_especificidades e diversidades_2009.pdf](http://www.ipardes.pr.gov.br/sites/ipardes/arquivos_restritos/files/documento/2019-09/Sudoeste_Paranaense_especificidades_e_diversidades_2009.pdf)

Ipardes. (2020). Perfil Avançado das Regiões. Recuperado de <http://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Perfil-Avancado-das-Regioes>

Lang, C. R., Pelissari, A., Moraes, A., Sulc, R. M., Oliveira, E. B., & Carvalho, P. C. D. F. (2004). Fitomassa aérea residual da pastagem de inverno no sistema integração lavoura-pecuária. *Scientia Agraria*, 5(1), 43. <https://doi.org/10.5380/rsa.v5i1.1095>

Loss, A., Pereira, M. G., Beutler, S. J., Perin, A., & Anjos, L. H. C.. (2012). Densidade e fertilidade do solo sob sistemas plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 55(4), 260–268. <https://doi.org/10.4322/rca.2012.066>

Macedo, M. C. M. (2009). Integração lavoura e pecuária: O estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(SUPPL. 1), 133–146. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300015>

Macedo, M. C. M. (2014). Integração lavoura-pecuária-floresta - Alternativa de agricultura conservacionista para os biomas brasileiros. In L. F.C. Leite, G. A. Maciel, & A. S. F. Araujo (Orgs.), *Agricultura Conservacionista no Brasil* 381–409. Brasília: Embrapa.

Martins, A. P., Costa, S. E. V. G. A., Anghinoni, I., Kunrath, T. R., Balerini, F., Cecagno, D., & Carvalho, P. C. F. (2014). Soil acidification and basic cation use efficiency in an integrated no-till crop–livestock system under different grazing intensities. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 195, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.05.012>

Moraes, A. (2002). Integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. In N. A. Mello & T. S. Assmann (Orgs.), *Anais do I Encontro de Integração Lavoura-Pecuária do Sul do Brasil* (p. 3–42). Pato Branco: CEFET-PR.

Pavan, M., Bloch, M. F., Zempulski, H. C., Miyazawa, M., & Zocoler, D. C. (1992). *Manual de análise química do solo e controle de qualidade* (38 p.) Londrina: Iapar.

Pavinato, P. S., & Rosolem, C. A. (2008). Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(3), 911–920. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300001>

Perin, E., Vieira, J. A. N., Lovato, L. F., Machado, M. L. S., & Bertuol, O. (2004). Sistemas de Referências para a Agricultura Familiar na Região Sudoeste do Paraná. Recuperado 3 de maio de 2017, de http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/SRs_Sudoeste.pdf

Sá, J. C. M., Santos, J. B., Canalli, L. B. S., Inagaki, T. M., Gonçalves, D. R. P., Romaniw, J., Briedis, C. (2019). Sistema Plantio Direto. In O. J. Bertol, A. Colozzi Filho, G. M. C. Barbosa, J. B. dos Santos, & M. D. F. Guimarães (Orgs.), *Manual de manejo e conservação do solo e da água para o estado do paraná*, 105–111. Curitiba: NEPAR-SBCS.

Santos, H. P., Fontaneli, R. S., Spera, S. T., & Dreon, G. (2011). Fertilidade e teor de matéria orgânica do solo em sistemas de produção com integração lavoura e pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, 6(3), 474–482. <https://doi.org/10.5039/agraria.v6i3a1266>

SBCS-NEPAR. (2017). *Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná* (1º ed) (482 p.). Curitiba: SBCS/NEPAR.

Seab, Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (2010). Paraná 12 meses. Recuperado de <http://www.simep.seab.pr.gov.br/pr12meses/index.html>

Silva, R. F., Guimarães, M. F., Aquino, A. M., & Mercante, F. M. (2011). Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(10), 1277–1283. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000023>

Souza, E. D., Costa, S. E. V. G. A., Anghinoni, I., Carvalho, P. C. F., Andrigueti, M., & Cao, E. (2009). Soil organic carbon and nitrogen stocks in an untilled crop-livestock integration system under different grazing intensities. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 33(6), 1829–1836. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832009000600031>

Tiecher, T., Santos, D. R. dos, Kaminski, J., & Calegari, A. (2012). Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(1), 271–282. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100028>

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Edivan Jose Possamai - 30%

Paulo Cesar Conceição - 20%

Maiara Karini Haskel - 10%

Lizete Stumpf - 10%

Cristiane Dalagua Paier - 10%

Jaqueline Kristiane da Rosa - 10%

Laércio Ricardo Sartor - 10%