

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LENIR FÁTIMA GOTZ

PRODUTIVIDADE DE GRÃOS, FERTILIDADE DO SOLO E DESSORÇÃO DE
FÓSFORO EM SOLOS COM APLICAÇÃO DE DEJETO BOVINO EM LONGO
PRAZO

CURITIBA

2020

LENIR FÁTIMA GOTZ

PRODUTIVIDADE DE GRÃOS, FERTILIDADE DO SOLO E DESSORÇÃO DE
FÓSFORO EM SOLOS COM APLICAÇÃO DE DEJETO BOVINO EM LONGO
PRAZO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Coorientadora: Profa. Dra. Nerilde Favaretto
Coorientador: Dr. Gabriel Barth

CURITIBA

2020

Gotz, Lenir Fátima

Produtividade de grãos, fertilidade do solo e dessorção de fósforo em solos com aplicação de dejetos bovinos em longo prazo / Lenir Fátima Gotz. - Curitiba, 2020.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo.

Orientador: Volnei Pauletti

Coorientadora: Nerilde Favaretto

Coorientador: Gabriel Barth

1. Adubação orgânica. 2. Fósforo no solo. 3. Extrações sucessivas.
4. Plantio direto. I. Pauletti, Volnei. II. Favaretto, Nerilde. III. Barth, Gabriel. IV. Título. V. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -
40001016014P4

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de LENIR FÁTIMA GOTZ intitulada: **PRODUTIVIDADE DE GRÃOS, FERTILIDADE DO SOLO E DESSORÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS COM APLICAÇÃO DE DEJETO BOVINO EM LONGO PRAZO**, sob orientação do Prof. Dr. VOLNEI PAULETTI, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua *aprovação* no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 22 de Janeiro de 2020.

VOLNEI PAULETTI

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

ALFREDO CASTAMANN

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL)

GABRIEL BARTH

Coorientador - Avaliador Externo (FUNDAÇÃO ABC)

Aos meus pais, Felomena e Valmor, e à minha irmã Paola, com todo o meu amor e gratidão, pela educação, força nos momentos difíceis, pelas orações e pelo apoio incondicional. DEDICO!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela saúde, força, proteção diária e por permitir que pessoas maravilhosas fizessem parte dessa jornada.

À minha família, em especial, meus pais, Valmor e Felomena, e minha irmã, Paola, pelo exemplo de vida, por serem meu porto seguro, me ensinarem a lutar pelos meus sonhos, compreenderem minha ausência em muitos momentos e por todo apoio e amor incondicional.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Volnei Pauletti, pelos ensinamentos transmitidos que muito contribuíram para minha formação profissional e pessoal, pela amizade, pelo incentivo e apoio nos momentos de incertezas, indicando o caminho.

Agradeço ao Prof. Dr. Alfredo Castamann, por me apresentar o incrível mundo da Ciência do Solo, pelos ensinamentos, pela paciência, amizade, por acreditar e confiar em mim, suas palavras sempre me encorajaram a continuar.

Aos meus coorientadores, Dr. Gabriel Barth e Prof. Dra. Nerilde Favaretto, pela total disponibilidade de fornecimento de dados e conhecimentos em todo o andamento da pesquisa.

Agradeço à Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realizar este trabalho. De modo especial, aos professores das disciplinas cursadas, os conhecimentos repassados são de grande valia; às técnicas de laboratório, Maria, Fabiana, Josiane e Carla, e à secretária do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Denise, por serem sempre muito prestativas, pela ajuda, paciência e amizade.

Aos amigos que se tornaram minha segunda família nesses dois anos, que estiveram presentes em todos os momentos, Jessica, Larissa e Davi.

Aos amigos com os quais tive o privilégio de compartilhar momentos incríveis, que tornaram meus dias mais leves com as conversas e feliz convivência, em especial, Yohanne, Mateus, Ana, Albert, Daniela, Simone, Selma, Bruna, Luana, Deise e muitos outros.

Ao pessoal do Laboratório de Mineralogia do Solo que me acolheram de forma tão especial, tornando os dias no laboratório mais alegres e menos cansativos, em especial, Samara, Danilo, Edvaldo e Ismael.

À fiel companheira Cuia de Mate que esteve presente em todas as horas.

À instituição de fomento à pesquisa Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

À Fundação Araucária, Agência de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná, pelo suporte financeiro, na compra de materiais e reagentes para as análises e na participação de eventos para divulgação dos resultados.

À Fundação ABC e sua equipe técnica, pela condução dos experimentos, coleta das amostras e realização das análises de produtividade das culturas e fertilidade do solo.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para execução deste trabalho.

“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento.”

Albert Einstein

RESUMO

O principal destino dos dejetos produzidos pelos animais é a aplicação em lavouras como fonte de nutrientes às plantas. Este estudo foi conduzido em experimentos de longo prazo, com o objetivo de indicar a dose de dejetos líquido bovino (DLB) que proporciona maior produtividade da aveia preta, milho, trigo e soja cultivadas com adubação mineral e em rotação, identificar as variáveis químicas do solo modificadas pelo dejetos que mais afetam a produtividade de grãos, e verificar a influência do DLB na dessorção e recuperação de fósforo (P), em solos com diferentes texturas. O trabalho foi conduzido em Castro-PR, sobre Latossolo Bruno Distrófico típico (LBd), textura muito argilosa, e, em Ponta Grossa-PR sobre Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (LVAd), textura franco-argiloarenosa, instalados em maio de 2006 e novembro de 2005, respectivamente. Os tratamentos consistiram de quatro doses de DLB (0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), adicional a adubação mineral (mesma quantidade para todos os tratamentos). Cada dose de DLB foi aplicada na superfície do solo, sem incorporação. Foi avaliada a produtividade das culturas conduzidas até as safras 2014/15 nas duas áreas. Após mais de oito anos do início dos experimentos, amostras de solo foram coletadas até 60 cm para avaliação das variáveis químicas, e até 15 cm para avaliação da dessorção do P, por meio de extrações sucessivas com resina trocadora de ânions (RTA), e porcentagem de recuperação do P. No LBd, a aplicação de DLB aumentou a produtividade de todas as culturas, enquanto no LVAd somente do milho e da aveia preta. O dejetos melhorou todas as variáveis químicas e mesmo aplicado na superfície do solo teve efeito em todas as camadas avaliadas, independente da textura do solo. Nas espécies que responderam mais a aplicação do dejetos foram obtidas as correlações mais fortes entre as variáveis químicas do solo e a produtividade de grãos. No LBd, as variáveis que mais correlacionaram positivamente com a produtividade foram o teor de bases trocáveis e P, enquanto no LVAd foi o pH. Em ambos os solos, o aumento da acidez potencial proporcionou efeito negativo na produtividade de grãos. A aplicação de DLB resultou em maior P dessorvido na camada superficial (0-5 cm), e o efeito em profundidade (5-10 cm) foi mais pronunciado com o uso das maiores doses de dejetos e no solo com menor teor de argila. Quanto maior a dose de DLB aplicada menor a recuperação de P do solo. A aplicação de 150 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLB em média, adicional a adubação mineral, resulta em obtenção de máxima produtividade de grãos na rotação aveia preta-milho-trigo-soja. As variáveis químicas do solo que mais influenciam a produtividade de grãos são o aumento das bases trocáveis no LBd, do pH no LVAd e a redução da acidez potencial nos dois solos. A aplicação de DLB em longo prazo, em adição a adubação mineral, aumenta a dessorção de P, apesar de reduzir sua recuperação.

Palavras-chave: Adubação orgânica. Fósforo no solo. Extrações sucessivas. Plantio direto.

ABSTRACT

The main destination of animal manure is the application to crops as a nutrients source to plants. This study was conducted in long-term experiments, with the aim of to indicate the dose of higher yield of black oat, maize, wheat and soybean cultivated with mineral fertilization and in rotation, to identify the soil chemical variables modified by the manure that most affect the grain yield, and to verify the influence of DLM on phosphorus (P) desorption and recovery, in soils with different textures. The work was carried out in Castro-PR, on Latossolo Bruno Distrófico típico (LBd), clayey texture, and in Ponta Grossa-PR on Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (LVAd), sandy clay loam texture, installed in May 2006 and November 2005, respectively. The treatments consisted by four doses of DLM (0, 60, 120 and 180 m³ ha⁻¹ year⁻¹) additional to the mineral fertilization (same amount for all treatments). Each dose of DLM was applied to the soil surface without incorporation. Crops yield conducted until the 2014/15 harvests in both areas was evaluated. After more than eight years from the beginning of the experiments, soil samples were collected up to 60 cm to evaluate chemical variables, and up to 15 cm to evaluate P desorption by successive extractions with anion exchange resin (AER), and percentage P recovery. In LBd, the DLM application increased the yield of all crops, while in LVAd only maize and black oat. The manure improved all chemical variables and even applied at soil surface had an effect on all evaluated layers, regardless of the soil texture. In the species that responded more to the manure application, the strongest correlations between soil chemical variables and grain yield were obtained. In LBd, the variables that most positively correlated with yield were exchange bases and P content, while in LVAd it was pH. In both soils, increased potential acidity had a negative effect on grain yield. The DLM application resulted in higher P desorbed in the surface layer (0-5 cm) and the depth effect (5-10 cm) was more pronounced with the use of higher doses of manure, and in the soil with lower clay content. The higher dose of DLM applied, the lower the soil P recovery. The application of 150 m³ ha⁻¹ year⁻¹ of DLM, additional to the mineral fertilization, results in maximum grain yield in rotation black oat-maize-wheat-soybean. The soil chemical variables that most influence grain yield are the increase of exchangeable bases in LBd, pH in LVAd and reduction of potential acidity in both soils. Long-term DLM application, in addition to the mineral fertilizer, increases soil P desorption, despite reducing P recovery.

Keywords: Organic fertilizer. Soil phosphorus. Successive extractions. No-tillage.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO NA ÁREA.	48
-------------------------------------------------------------	----

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – PRODUTIVIDADE POR SAFRA E MÉDIA DAS SAFRAS DE MILHO (A), SOJA (B), TRIGO (C) E AVEIA PRETA (D), PRODUTIVIDADE ACUMULADA DE GRÃOS POR CULTURA (E) E PRODUTIVIDADE ACUMULADA TOTAL DE GRÃOS (MILHO + SOJA + TRIGO) DAS ESPÉCIES CULTIVADAS NO PERÍODO 2006-2014/15 (F), EM FUNÇÃO DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM CASTRO-PR.....	27
GRÁFICO 2 – pH EM CaCl ₂ (A), ACIDEZ POTENCIAL (H + Al) (B), TEOR DE CARBONO ORGÂNICO (C), FÓSFORO (RESINA) (D), CÁLCIO (E), MAGNÉSIO (F), POTÁSSIO (G), SATURAÇÃO POR BASES (H) E CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (I) EM SEIS PROFUNDIDADES DE UM LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico, APÓS OITO ANOS E DOIS MESES DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO.	31
GRÁFICO 3 - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS COM PRODUTIVIDADE ACUMULADA DE GRÃOS DE MILHO (A), SOJA (B), TRIGO (C), TOTAL (MILHO + SOJA + TRIGO) (D) E VARIÁVEIS QUÍMICAS DO SOLO NA PROFUNDIDADE 0-10 CM, APÓS OITO ANOS E DOIS MESES DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico.	37
GRÁFICO 4 – PRODUTIVIDADE POR SAFRA E MÉDIA DAS SAFRAS DE MILHO (A), AVEIA PRETA (B), SOJA (C) E TRIGO (D) EM FUNÇÃO DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM PONTA GROSSA-PR.....	52
GRÁFICO 5 - pH EM CaCl ₂ (A), ACIDEZ POTENCIAL (H + Al) (B), TEOR DE CARBONO ORGÂNICO (C), FÓSFORO (RESINA) (D), CÁLCIO (E), MAGNÉSIO (F), POTÁSSIO (G), SATURAÇÃO POR BASES (H), CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS (I) EM SEIS PROFUNDIDADES DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, APÓS NOVE ANOS E CINCO MESES DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO.	56
GRÁFICO 6 - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS COM PRODUTIVIDADE MÉDIA DE GRÃOS DE MILHO (A), SOJA (B), TRIGO (C) E TOTAL (MILHO + SOJA	

+ TRIGO) E VARIÁVEIS QUÍMICAS DO SOLO NA PROFUNDIDADE 0-10 CM, APÓS NOVE ANOS E CINCO MESES DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico.	62
GRÁFICO 7 – DESSORÇÃO DE FÓSFORO POR EXTRAÇÕES SUCESSIVAS COM RESINA TROCADORA DE ÂNIONS NO LATOSSOLO COM TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA NAS CAMADAS 0-5 CM (A), 5-10 CM (C), 10-15 CM (E) E 0-15 CM (G), E NO LATOSSOLO COM TEXTURA MUITO ARGILOSA NAS CAMADAS 0-5 CM (B), 5-10 CM (D), 10-15 CM (F) E 0-15 CM (H), APÓS APLICAÇÕES ANUAIS DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LONGO PRAZO.	83
GRÁFICO 8 – SOMATÓRIO DO TEOR DE FÓSFORO DESSORVIDO aQNAS 12 (LATOSSOLO COM TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA) (A) E 18 (LATOSSOLO COM TEXTURA MUITO ARGILOSA) (B) EXTRAÇÕES COM RESINA TROCADORA DE ÂNIONS EM SOLOS COM APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LONGO PRAZO.	85
GRÁFICO 9 – DESSORÇÃO DE FÓSFORO OBTIDO PELO SOMATÓRIO DOS TEORES DE 12 (LATOSSOLO FRANCO-ARGILOAREONOSO) E 18 (LATOSSOLO MUITO ARGILOSO) EXTRAÇÕES SUCESSIVAS COM RESINA TROCADORA DE ÂNIONS NAS CAMADAS 0-5 + 5-10 + 10-15 CM, APÓS APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LONGO PRAZO.	88

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VARIÁVEIS QUÍMICAS E TEORES DE ARGILA, SILTE E AREIA DO SOLO ANTERIOR À INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO, NAS PROFUNDIDADES (PROF.) 0-10, 10-20 E 20-30 CM (CASTRO-PR).	22
TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO DEJETO LÍQUIDO BOVINO APLICADO DESDE A INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	23
TABELA 3 – QUANTIDADE DE NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K) APLICADO NAS DIFERENTES SAFRAS VIA DEJETO LÍQUIDO BOVINO DESDE A INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.	24
TABELA 4 – QUANTIDADE DE NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K) APLICADO NAS DIFERENTES SAFRAS (INVERNO E VERÃO) VIA ADUBAÇÃO MINERAL DESDE O INÍCIO DO EXPERIMENTO.	25
TABELA 5 – EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA pH EM CaCl ₂ , FÓSFORO (P), CÁLCIO (Ca), MAGNÉSIO (Mg), POTÁSSIO (K) E SATURAÇÃO POR BASES (V%) ATÉ 60 CM DE PROFUNDIDADE, APÓS OITO ANOS E DOIS MESES DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico.	33
TABELA 6 – VARIÁVEIS QUÍMICAS E TEORES DE ARGILA, SILTE E AREIA DO SOLO ANTERIOR À INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO, NAS PROFUNDIDADES (PROF.) 0-10 E 10-20 CM (PONTA GROSSA-PR).....	48
TABELA 7 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO DEJETO LÍQUIDO BOVINO APLICADO DESDE A INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	49
TABELA 8 – QUANTIDADE DE NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K) APLICADO NAS DIFERENTES SAFRAS VIA DEJETO LÍQUIDO BOVINO DESDE A IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO.	50
TABELA 9 – QUANTIDADE DE NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K) APLICADO NAS DIFERENTES SAFRAS VIA ADUBAÇÃO MINERAL DESDE O INÍCIO DO EXPERIMENTO.	51
TABELA 10 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA pH EM CaCl ₂ , FÓSFORO (P), CÁLCIO (Ca), MAGNÉSIO (Mg), POTÁSSIO (K) E SATURAÇÃO POR BASES (V%) APÓS NOVE ANOS E CINCO MESES DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico.	58

TABELA 11 – FÓSFORO ADICIONADO VIA ADUBO MINERAL (MINERAL) E DEJETO LÍQUIDO BOVINO (DLB) NAS DIFERENTES SAFRAS (INVERNO/VERÃO) DESDE A INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO NO LATOSSOLO COM TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA.....	80
TABELA 12 - FÓSFORO ADICIONADO VIA ADUBO MINERAL (MINERAL) E DEJETO LÍQUIDO BOVINO (DLB) NAS DIFERENTES SAFRAS (INVERNO/VERÃO) DESDE A INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO NO LATOSSOLO COM TEXTURA MUITO ARGILOSA.....	81
TABELA 13 – TEORES MÉDIOS DE FÓSFORO (P) EXPORTADO E P EXPORTADO TOTAL NO EXPERIMENTO CONDUZIDO EM LATOSSOLO COM TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA (PONTA GROSSA-PR).	81
TABELA 14 - TEORES MÉDIOS DE FÓSFORO (P) EXPORTADO E P EXPORTADO TOTAL NO EXPERIMENTO CONDUZIDO EM LATOSSOLO COM TEXTURA MUITO ARGILOSA (CASTRO-PR).	82
TABELA 15 – FÓSFORO PERDIDO POR EROSÃO (SOLÚVEL + PARTICULADO) NO PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO NAS UNIDADES EXPERIMENTAIS DE PONTA GROSSA (TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA) E CASTRO (TEXTURA MUITO ARGILOSA).	82
TABELA 16 – TEOR DE FÓSFORO DESSORVIDO COM UMA EXTRAÇÃO (P1) E TEOR DE FÓSFORO DESSORVIDO TOTAL (Pt) COM 12 E 18 EXTRAÇÕES SUCESSIVAS COM RESINA TROCADORA DE ÂNIONS NOS LATOSSOLOS COM TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA E MUITO ARGILOSA, RESPECTIVAMENTE, APÓS APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LONGO PRAZO.	89
TABELA 17 – FÓSFORO RECUPERADO EM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA) APÓS NOVE ANOS E QUATRO MESES DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL.....	90
TABELA 18 - FÓSFORO RECUPERADO EM LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico (TEXTURA MUITO ARGILOSA) APÓS OITO ANOS E DEZ MESES DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL.	91

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	17
2 CAPÍTULO I: DEJETO BOVINO APLICADO EM SOLO COM TEXTURA MUITO ARGILOSA AUMENTA A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DEVIDO ÀS ALTERAÇÕES NA FERTILIDADE?.....	19
2.1 RESUMO.....	19
2.2 ABSTRACT	20
2.3 INTRODUÇÃO	21
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E CONDUÇÃO EXPERIMENTAL	22
2.4.2 PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS	24
2.4.3 ANÁLISE DE SOLO	25
2.4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	26
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
2.5.1 PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS	26
2.5.2 FERTILIDADE DO SOLO.....	30
2.5.3 VARIÁVEIS QUÍMICAS QUE INFLUENCIARAM A PRODUTIVIDADE	36
2.6 CONCLUSÕES	39
2.7 REFERÊNCIAS.....	39
3 CAPÍTULO II: PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E FERTILIDADE DE UM SOLO COM TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA APÓS APLICAÇÃO DE DEJETO BOVINO EM LONGO PRAZO	44
3.1 RESUMO.....	44
3.2 ABSTRACT	45
3.3 INTRODUÇÃO	46
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	47
3.4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E CONDUÇÃO EXPERIMENTAL	47
3.4.2 PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS	48
3.4.3 ANÁLISE DE SOLO	49
3.4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	50
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
3.5.1 PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS	52
3.5.2 FERTILIDADE DO SOLO.....	55

3.5.3 VARIÁVEIS QUÍMICAS QUE INFLUENCIARAM A PRODUTIVIDADE	62
3.6 CONCLUSÕES	64
3.7 REFERÊNCIAS	64
4 CAPÍTULO III: DESSORÇÃO E RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS COM APLICAÇÃO DE DEJETO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LONGO PRAZO	73
4.1 RESUMO	73
4.2 ABSTRACT	74
4.3 INTRODUÇÃO	75
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	76
4.4.1 ÁREA EXPERIMENTAL	76
4.4.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DOS SOLOS	78
4.4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	82
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
4.5.1 DESSORÇÃO DE FÓSFORO	83
4.5.2 FÓSFORO RECUPERADO	89
4.6 CONCLUSÕES	93
4.7 REFERÊNCIAS	93
5 CONCLUSÃO GERAL	102
6 REFERÊNCIAS	103

1 INTRODUÇÃO GERAL

A atividade leiteira é considerada uma das mais importantes do complexo agroindustrial mundial, apresentando grande relevância econômica e social, por ser essencial no suprimento de alimentos e na geração de empregos e renda para a população (JUNG; JÚNIOR, 2017). Os cinco maiores produtores mundiais de leite são União Europeia, Estados Unidos, Índia, China e Brasil. O Brasil possui o terceiro maior efetivo de vacas leiteiras, e o estado do Paraná, localizado no Sul do Brasil, se destaca como segundo maior produtor nacional de leite, responsável por 14,1% da produção no ano de 2016 (IBGE, 2016).

A produção de leite com os animais confinados é uma prática comum e necessária em muitos países. O dejetos gerado tem como principal destino a aplicação em áreas agrícolas, sendo que os benefícios do uso destes na agricultura são bem conhecidos, como melhoria nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, e, por consequência, no crescimento e na produtividade das culturas (KAPKIYAI et al., 1999; HAO; CHANG, 2003; ABEDI; ALEMZADEH; KAZEMEINI, 2010; BHATTACHARYYA et al., 2010; MELLEK et al., 2010; CHIVENGE; VANLAUWE; SIX, 2011; SARTOR et al., 2012; KÖRSCHENS et al., 2013; BARCELLOS et al., 2015; BRAR et al., 2015; LI; HAN, 2016; BAGHDADI et al., 2018; MAMIA et al., 2018; TLUSTOŠ et al., 2018).

Em áreas de produção intensiva de leite, devido ao grande volume de dejetos produzido, associado ao alto custo de transporte, a maioria dos produtores aplicam doses relativamente altas e sucessivas destes em áreas próximas da produção, associando com a adubação mineral, muitas vezes sem considerar a quantidade de nutrientes aplicada (CERETTA et al., 2003; HAO; CHANG, 2003; CERETTA et al., 2005; GATIBONI et al., 2008; ABBOUD et al., 2018; WITHERS et al., 2018). No entanto, sabe-se que o uso de dejetos de forma inadequada pode causar poluição das águas superficiais e subterrâneas. Além disso, aplicações consecutivas, em longo prazo, podem resultar em elevado acúmulo de fósforo (P) no solo e saturação progressiva da capacidade de sorção, devido à fertilização excessiva com esse elemento (CASTOLDI; STEIN; BECHINI, 2009; PIZZEGHELLO et al., 2011).

O P acumulado encontra-se em diversas formas, adsorvido com diferentes graus de energia, o que resulta em variação na capacidade de dessorção e abastecimento da solução do solo (BARROW; BOLLAND; ALLEN, 1998; GUPPY et

al., 2005; ANTELO et al., 2007). Para estimar a disponibilidade deste nutriente às plantas, em curto prazo, são utilizados procedimentos rápidos e simples, constituídos de uma só extração. No entanto, alguns trabalhos evidenciaram que o uso de extrações sucessivas com esses mesmos métodos amplia a quantificação do P dessorvido e pode melhorar a estimativa do nutriente passível de absorção pelas plantas, inferindo que os métodos de rotina acessam apenas parte do P potencialmente disponível (CAMPELLO et al., 1994; MCKEAN; WARREN, 1996; RHEINHEIMER; ANGHINONI; KAMINSKI, 2000; GATIBONI et al., 2002; RHEINHEIMER et al., 2003; CAMÊLO et al., 2015).

Neste contexto, considerando a exigência atual de aumento na produção de alimentos, associado à preservação do ambiente e dos recursos naturais, é evidente a importância do uso e manejo eficiente da adubação nos sistemas agrícolas. Logo, experimentos de longa duração com fontes que os agricultores empregam são de extrema relevância, sobretudo para otimizar as aplicações, minimizar os impactos negativos sobre a qualidade da água, além de aumentar a produção agrícola, planejando o manejo nutricional de longo prazo (KAPKIYAI et al., 1999; HAO et al., 2015). Em condições brasileiras, a maioria dos trabalhos com aplicações de dejetos líquidos (bovinos e suínos) avaliam somente o efeito do uso isolado destes. Dessa forma, existe carência de estudos de longo prazo com aplicação de dejetos adicional a adubação mineral (PAULETTI et al., 2008; BISON PINTO et al., 2014), prática muito comum entre os produtores.

Assim, este estudo foi conduzido em experimentos de longo prazo, com o objetivo de indicar a dose de dejetos líquido bovino (DLB) que proporciona maior produtividade da aveia preta, milho, trigo e soja cultivadas com adubação mineral e em rotação, identificar as variáveis químicas do solo modificadas pelo dejetos que mais afetam a produtividade de grãos, e verificar a influência do DLB na dessorção e recuperação de fósforo (P), em solos com diferentes texturas.

2 CAPÍTULO I: DEJETO BOVINO APLICADO EM SOLO COM TEXTURA MUITO ARGILOSA AUMENTA A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DEVIDO ÀS ALTERAÇÕES NA FERTILIDADE?

2.1 RESUMO

O principal destino dos dejetos produzidos pelos animais é a aplicação em lavouras como fonte de nutrientes às plantas. O objetivo deste estudo foi indicar a dose de dejetos líquidos bovinos (DLB) aplicado em longo prazo, adicional a adubação mineral, que proporciona maior produtividade de culturas em rotação no plantio direto, e identificar as variáveis químicas do solo modificadas pelo dejetos que mais afetam a produtividade de grãos, em solo com textura muito argilosa. O experimento foi conduzido de 2006 a 2014/15, na estação experimental da Fundação ABC, em Castro, estado do Paraná, Brasil, em um Latossolo Bruno Distrófico típico. Os tratamentos consistiram em quatro doses de DLB (0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), adicional a adubação mineral (mesma quantidade para todos os tratamentos). Cada dose de DLB foi aplicada na superfície do solo, sem incorporação, metade na safra de inverno e metade na safra de verão. Em relação às culturas, foram avaliadas: produtividade de massa seca de cinco safras de aveia preta, e produtividade de grãos de quatro safras de milho, cinco de soja e quatro de trigo, bem como a média das safras para cada cultura. Além disso, foi determinada a produtividade acumulada de grãos de milho, soja e trigo (somando todas as safras de cada cultura) e a produtividade acumulada total de grãos (somando as 13 safras avaliadas). Oito anos e dois meses após a primeira aplicação de dejetos, amostras de solo foram coletadas até 60 cm para avaliação das variáveis químicas. A aplicação de DLB aumentou a produtividade de todas as culturas, mas não em todas as safras avaliadas. O uso de dejetos melhorou todas as variáveis químicas e, mesmo aplicado na superfície do solo, teve efeito em todas as camadas avaliadas. A produtividade de grãos das espécies da família Poaceae (milho e trigo) foram as que apresentaram maior correlação com as variáveis químicas do solo. Verificou-se correlações altamente positivas entre produtividade do milho e teores de bases trocáveis e P, e entre produtividade do trigo e teores de Ca e Mg. Na soja, cultura com menor resposta à aplicação de dejetos, a correlação entre produtividade de grãos e variáveis do solo foi fraca. Em relação à produtividade acumulada total de grãos foi observada correlação altamente positiva com as bases do solo, principalmente Ca e Mg. Para todas as culturas, o aumento da acidez potencial proporcionou efeito negativo na produtividade de grãos. Com as informações obtidas, pode-se concluir que a dose de DLB, adicional a adubação mineral, que proporciona maior produtividade de soja e trigo sob plantio direto é próxima a 130 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto para o milho essa dose é igual ou superior a 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Em solo com textura muito argilosa, o efeito da aplicação de DLB, adicional a adubação mineral, na produtividade de grãos é atribuído à melhoria de várias variáveis químicas do solo, sobretudo aumento das bases trocáveis e redução da acidez.

Palavras-chave: Adubação orgânica. Adubação de longo prazo. Culturas anuais. Plantio direto. Nutrientes no solo.

2.2 ABSTRACT

The main destination of animal manure is the application to crops as a nutrients source to plants. The aim of this study was to indicate the dose of dairy liquid manure (DLM) applied in long-term, in addition to the mineral fertilization, which provides higher crops yield in no-tillage rotation, and to identify the soil chemical variables modified by the manure that most affect the grain yield, in soil with clayey texture. The experiment was conducted from 2006 to 2014/15, at the ABC Foundation experimental station, in Castro, Paraná state, Brazil, in a Latossolo Bruno Distrófico típico. The treatments consisted by four doses of DLM (0, 60, 120 and 180 m³ ha⁻¹ year⁻¹), additional to the mineral fertilizer (same amount for all treatments). Each dose of DLM was applied on the soil surface, without incorporation, half in the winter harvest and half in the summer harvest. Relative to the crops were evaluated: dry mass yield of five black oat harvests, and grain yield of four maize, five soybean and four wheat harvests, and the average harvests for each crop. In addition, accumulated grain yield for maize, soybean and wheat (adding all the harvests of each crop), and the total accumulated grain yield (adding 13 harvests evaluated). Eight years and two months after the first manure application, soil samples were collected up to 60 cm for evaluation of chemical variables. The DLM application increased yield of all crops, but not in all harvests evaluated. The DLM use improved all chemical variables and even applied at soil surface had an effect on all evaluated layers. Grain yields of the Poaceae species (maize and wheat) showed the highest correlation with soil chemical variables. Highly positive correlations between maize yield and exchange bases and P content and between wheat yield and Ca and Mg content were verified. In soybean, crop with lower response to manure application, the correlation between grain yield and soil variables was weak. Relative to the total accumulated grain yield highly positive correlation with soil bases, mainly Ca and Mg, was observed. For all crops, increased potential acidity had a negative effect on grain yield. With the information obtained, it can be concluded that the dose of DLM, in addition to the mineral fertilization, that provides higher soybean and wheat yield under no-tillage is close to 130 m³ ha⁻¹ year⁻¹, while for maize this dose is equal to or higher than 180 m³ ha⁻¹ year⁻¹. In soil with clayey texture, the effect of DLM application, in addition to the mineral fertilizer, on grain yield is attributed to the improvement of various soil chemical variables, especially the increase exchangeable bases and acidity reduction.

Keywords: Organic fertilizer. Long-term fertilizer. Annual crops. No-tillage. Soil nutrients.

2.3 INTRODUÇÃO

A atividade leiteira do Brasil se destaca no ranking mundial, apresentando o terceiro maior efetivo de vacas leiteiras (aproximadamente 20 milhões em 2016). Em relação à produção de leite, o país ocupa a quinta posição e, o estado do Paraná, é o segundo maior produtor nacional de leite (14,1%) (IBGE, 2016).

Quando a produção pecuária é baseada em sistema de confinamento intensivo resulta em grande volume de dejetos, cujo principal destino é a aplicação em lavouras. Os benefícios do uso de dejetos na agricultura são bem conhecidos, como melhoria nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, e, por consequência, no crescimento e na produtividade das culturas (KAPKIYAI et al., 1999; HAO; CHANG, 2003; ABEDI; ALEMZADEH; KAZEMEINI, 2010; BHATTACHARYYA et al., 2010; MELLEK et al., 2010; CHIVENGE; VANLAUWE; SIX, 2011).

O rápido aumento da população mundial exige aumentos paralelos na produção de alimentos. Assim, a fim de preservar o ambiente e os recursos naturais, novos aumentos na produção precisam ser acompanhados de um manejo adequado da fertilização. Em áreas de produção intensiva de leite a maioria dos produtores aplicam doses relativamente altas de dejetos em áreas próximas da produção, devido ao alto custo de transporte, associando com a adubação mineral, muitas vezes sem considerar a quantidade de nutrientes aplicada (HAO; CHANG, 2003; ABBOUD et al., 2018). No entanto, sabe-se que o uso de dejetos de forma inadequada pode causar poluição das águas superficiais e subterrâneas. Assim, a chave para um manejo adequado da fertilização é equilibrar as doses aplicadas com as necessidades de nutrientes das culturas (MAMIA et al., 2018).

Nesse contexto, pesquisas voltadas para o uso de adubos devem considerar as fontes que os agricultores empregam para adicionar nutrientes ao solo. Além disso, experimentos de longa duração são de extrema importância, sobretudo para otimizar as aplicações, minimizar os impactos negativos sobre a qualidade da água, além de aumentar a produção agrícola, planejando o manejo nutricional de longo prazo (KAPKIYAI et al., 1999; HAO et al., 2015). Com base nisso, este estudo foi conduzido em um experimento de longo prazo em sistema plantio direto, com aplicação de dejetos líquido bovino (DLB), adicional a adubação mineral, com o objetivo de indicar a dose de DLB para maior produtividade das culturas e identificar

as variáveis químicas do solo modificadas pelo dejetos que mais afetam a produtividade de grãos, em solo com textura muito argilosa.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E CONDUÇÃO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na estação experimental da Fundação ABC, localizada em Castro-PR. O solo da área é classificado como Latossolo Bruno Distrófico típico (EMBRAPA, 2018), textura muito argilosa, com 10% de declividade. O clima da região é classificado como Cfb (Köppen), clima temperado, com precipitação média anual de 1.554 mm, sem estação seca definida e a temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C (ALVARES et al., 2014).

A instalação do experimento foi realizada em maio de 2006, em área conduzida sob sistema plantio direto há mais de 15 anos com culturas anuais. Os tratamentos consistiram de quatro doses de dejetos líquido bovino (DLB) (0, 60, 120, 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), alocados em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. As parcelas apresentavam 29,8 m² (8,5 m de comprimento por 3,5 m de largura). Cada dose de dejetos foi aplicada sobre a superfície do solo, de forma manual, sem incorporação, e dividida em duas aplicações ao ano: metade na safra de inverno e metade na safra de verão. As características do solo anterior à instalação do experimento estão apresentadas na TABELA 1.

TABELA 1 – VARIÁVEIS QUÍMICAS E TEORES DE ARGILA, SILTE E AREIA DO SOLO ANTERIOR À INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO, NAS PROFUNDIDADES (PROF.) 0-10, 10-20 E 20-30 CM (CASTRO-PR).

Prof. (cm)	pH CaCl ₂	CO ⁽¹⁾ g kg ⁻¹	H+Al	Ca	Mg	K	CTC ⁽²⁾	Al	P ⁽³⁾ mg dm ⁻³	Argila	Areia	Silte
						cmol _c kg ⁻¹					g kg ⁻¹	
0-10	5,4	29,3	4,6	5,6	1,7	0,30	12,2	0,0	5,5	691,0	195,0	114,0
10-20	5,3	22,0	4,6	4,5	1,0	0,16	10,1	0,0	2,5	712,0	179,0	109,0
20-30	5,4	19,0	4,0	3,9	0,8	0,10	8,8	0,0	1,0	725,0	99,0	176,0

⁽¹⁾ CO: carbono orgânico; ⁽²⁾ CTC: capacidade de troca de cátions; ⁽³⁾: Método de extração Mehlich-1.

FONTE: Adaptado de Timofiecsyk (2009).

O DLB utilizado (composto de fezes, urina de animais e água de lavagem) foi obtido na região de Castro, com produção baseada em sistema de confinamento de vacas da raça holandesa. As características químicas do DLB aplicado desde o

início do experimento constam na TABELA 2, enquanto as quantidades aplicadas de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na TABELA 3.

TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO DEJETO LÍQUIDO BOVINO APLICADO DESDE A INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.

Data da aplicação	Matéria seca		Nitrogênio total		Fósforo total		Potássio total	
	g L ⁻¹	g L ⁻¹	g kg ⁻¹	g L ⁻¹	g kg ⁻¹	g L ⁻¹	g kg ⁻¹	
11/05/2006	90,5	1,8	20,1	0,8	8,5	3,5	38,2	
05/10/2006	75,5	1,7	23,0	0,6	8,1	2,3	31,1	
04/05/2007	43,3	0,9	21,9	0,4	9,5	1,5	34,1	
30/11/2007	89,6	2,0	22,5	0,7	8,0	3,0	33,9	
01/08/2008	87,1	1,7	20,1	0,6	7,0	2,9	32,7	
09/01/2009	46,7	1,1	23,6	0,3	6,7	1,6	33,6	
04/08/2009	51,0	0,9	18,4	0,6	11,0	1,2	23,6	
06/11/2009	44,9	2,6	57,9	0,9	20,4	1,9	42,5	
27/07/2010	85,5	1,6	18,3	0,7	8,2	3,2	37,7	
27/01/2011	93,1	1,7	18,7	0,8	9,0	4,1	44,5	
02/08/2011	113,0	2,3	20,3	0,8	7,3	4,2	37,1	
09/11/2011	94,0	1,8	19,7	0,7	7,3	3,7	39,4	
10/08/2012	87,3	2,2	25,5	0,6	7,5	4,1	46,9	
07/01/2013	73,7	1,6	21,2	0,5	7,3	0,1	1,7	
10/06/2013	79,1	1,7	21,0	0,6	7,8	3,9	49,5	
05/11/2013	71,1	1,4	20,3	0,4	6,0	3,3	46,0	
28/07/2014	94,5	5,2	55,0	0,9	9,2	2,7	29,0	
09/01/2015	91,4	4,2	45,9	0,7	7,6	3,5	38,1	
Média	78,4	2,0	26,3	0,6	8,7	2,8	35,5	
Paraná ⁽¹⁾	69,0	1,6	22,6	0,5	8,0	2,8	40,6	

⁽¹⁾ Média no dejetos líquido bovino coletado no estado do Paraná (NEPAR, 2019).

FONTE: Adaptado de Abboud et al. (2018) e NEPAR (2019).

Foi realizada adubação mineral (NPK) em todos os tratamentos, de acordo com a recomendação às culturas (SBCS, 2004). A quantidade de N, P e K aplicada nas diferentes safras via adubo mineral está apresentada na TABELA 4. A adubação mineral foi realizada no sulco de semeadura com formulações de NPK e em cobertura com adubos simples (ureia e KCl). Durante a condução do experimento foram realizadas duas aplicações de corretivos de acidez, em maio de 2007 e agosto de 2013, com aplicação de 2.500 e 1.900 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico, respectivamente.

O experimento foi conduzido em sistema de plantio direto durante 18 safras agrícolas, entre 2006 e 2014/15, com rotação de culturas envolvendo aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e trigo (*Triticum aestivum* L.) no inverno e soja (*Glycine max* (L.) Merr.) e milho (*Zea mays* L.) no verão. O espaçamento entre linhas foi de

80 cm para o milho, 40 cm para a soja e 17 cm para as espécies de inverno (trigo e aveia preta).

TABELA 3 – QUANTIDADE DE NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K) APLICADO NAS DIFERENTES SAFRAS VIA DEJETO LÍQUIDO BOVINO DESDE A INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.

Safr	60 m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹			120 m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹			180 m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	kg ha ⁻¹								
Inverno 2006	54,6	23,1	103,8	109,2	46,1	207,7	163,8	69,2	311,5
Verão 2006/07	52,2	18,3	70,5	104,4	36,7	140,9	156,6	55,0	211,4
Inverno 2007	28,5	12,3	44,3	57,0	24,6	88,7	85,5	36,9	133,0
Verão 2007/08	60,5	21,5	91,3	121,0	43,0	182,5	181,4	64,4	273,8
Inverno 2008	52,5	18,4	18,8	105,0	36,7	170,9	157,6	55,1	256,4
Verão 2008/09	33,1	9,6	47,1	66,1	19,2	94,2	99,2	28,8	141,3
Inverno 2009	28,2	16,8	36,1	56,3	33,7	72,1	84,5	50,5	108,2
Verão 2009/10	78,0	27,5	57,3	156,0	55,0	114,6	234,0	82,5	171,8
Inverno 2010	46,9	21,1	96,7	93,9	42,1	193,3	140,8	63,3	290,0
Verão 2010/11	52,2	25,2	124,3	104,5	50,5	248,5	156,7	75,7	372,8
Inverno 2011	68,8	24,9	125,8	137,6	49,7	251,6	206,5	74,6	377,4
Verão 2011/12	55,6	20,6	111,2	111,1	41,1	222,4	166,7	61,7	333,6
Inverno 2012	66,8	19,6	122,8	133,6	39,2	245,7	200,4	58,7	368,5
Verão 2012/13	46,9	16,1	3,9	93,7	32,2	7,7	140,6	48,4	11,6
Inverno 2013	49,8	18,4	117,4	99,7	36,8	234,8	149,9	55,3	352,2
Verão 2013/14	43,3	12,9	98,1	86,6	25,7	196,2	129,9	38,6	294,3
Inverno 2014	156,0	26,2	82,2	312,0	52,4	164,4	468,0	78,6	246,5
Verão 2014/15	126,0	21,0	104,6	252,0	41,9	209,2	378,0	62,9	313,8
Total	1099,8	352,8	1522,8	2199,6	705,6	3045,6	3299,4	1058,4	4568,4
Média ⁽¹⁾	61,1	19,6	84,6	122,2	39,3	169,2	183,3	58,9	253,8

⁽¹⁾ Quantidade média por aplicação.

FONTE: Abboud (2016).

2.4.2 PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

A produtividade de grãos (milho, soja e trigo) foi determinada na área útil de cada parcela, colhendo 14 linhas por 2 m no trigo e 8 linhas por 2 m nas culturas de verão. A massa dos grãos foi corrigida para 13% de umidade e os valores foram convertidos em kg ha⁻¹. A produtividade de matéria seca da aveia preta foi determinada pela coleta das plantas, cortadas a aproximadamente 1 cm da superfície do solo, em 1 m² na fase de maior crescimento vegetativo da cultura, e posterior secagem.

Foram avaliadas cinco safras de aveia preta, quatro de milho, cinco de soja e quatro de trigo, de forma isolada, bem como a média das safras para cada espécie. Além disso, foi determinada a produtividade acumulada de grãos de milho, soja e

trigo, sendo obtida a partir da soma da produtividade das safras para cada espécie. Posteriormente, calculou-se a produtividade acumulada total de grãos, somando a produtividade de grãos de todas as safras avaliadas durante o experimento (13 safras).

TABELA 4 – QUANTIDADE DE NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K) APLICADO NAS DIFERENTES SAFRAS (INVERNO E VERÃO) VIA ADUBAÇÃO MINERAL DESDE O INÍCIO DO EXPERIMENTO.

Cultura	Safra	Cultivar	Data de semeadura	kg ha ⁻¹		
				N	P	K
Aveia preta	2006	Iapar 61	26/04/2006	0,0	0,0	0,0
Milho	2006/07	P 30F53	03/10/2006	175,0	37,0	93,0
Aveia preta	2007	Comum	03/05/2007	0,0	0,0	0,0
Soja	2007/08	CD 206	02/11/2007	0,0	26,0	50,0
Trigo	2008	Supera	26/06/2008	114,0	39,0	59,0
Soja	2008/09	CD 206	27/11/2008	0,0	22,0	42,0
Aveia preta	2009	Comum	09/06/2009	0,0	0,0	0,0
Milho	2009/10	P 30F53	18/09/2009	175,0	41,0	63,0
Trigo	2010	Quartzo	14/06/2010	134,0	30,0	63,0
Soja	2010/11	CD 206	10/12/2010	0,0	26,0	50,0
Aveia preta	2011	Comum	01/05/2011	0,0	0,0	0,0
Milho	2011/12	AS 1555YG	20/10/2011	165,0	39,0	50,0
Trigo	2012	Quartzo	14/06/2012	120,0	26,0	50,0
Soja	2012/13	NA 5909RG	19/11/2012	0,0	26,0	50,0
Aveia preta	2013	Agro Coxilha	26/04/2013	0,0	0,0	0,0
Milho	2013/14	P 30F53YH	07/10/2013	183,0	41,0	75,0
Trigo	2014	Sinuelo	18/06/2014	120,0	26,0	50,0
Soja	2014/15	NA 5909RG	19/11/2014	0,0	26,0	50,0
Total	-	-	-	1.186,0	405,0	745,0
Soja	Média	-	-	0,0	25,0	48,0
Milho	Média	-	-	174,0	39,0	70,0
Trigo	Média	-	-	122,0	30,0	55,0
Aveia preta	Média	-	-	0,0	0,0	0,0

FONTE: Adaptado de Abboud (2016).

2.4.3 ANÁLISE DE SOLO

Em julho de 2014, oito anos e dois meses após a primeira aplicação de dejetos, foram coletadas amostras de solo em seis camadas (0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60 cm) na entrelinha da cultura anterior, com o auxílio de trado calador. Cada amostra foi composta por dez subamostras. Todas as amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas utilizando peneira de malha de 2 mm.

Foram avaliados: pH do solo, em uma suspensão de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ (1: 2,5 v/v solo/solução); acidez potencial (H + Al), estimada após a leitura do pH com a adição da solução tampão SMP às amostras do solo, usando correlação com o

índice SMP (RAIJ et al., 1997); carbono orgânico, obtido pela divisão do teor de matéria orgânica (método colorimétrico) por 1,724; teor de fósforo do solo, extraído com resina de troca aniônica; teores de cálcio, magnésio e potássio, extraídos com resina de troca de cátions (RAIJ; QUAGGIO, 1983). E, com base nesses resultados, calculou-se a saturação por bases e capacidade de troca de cátions.

2.4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

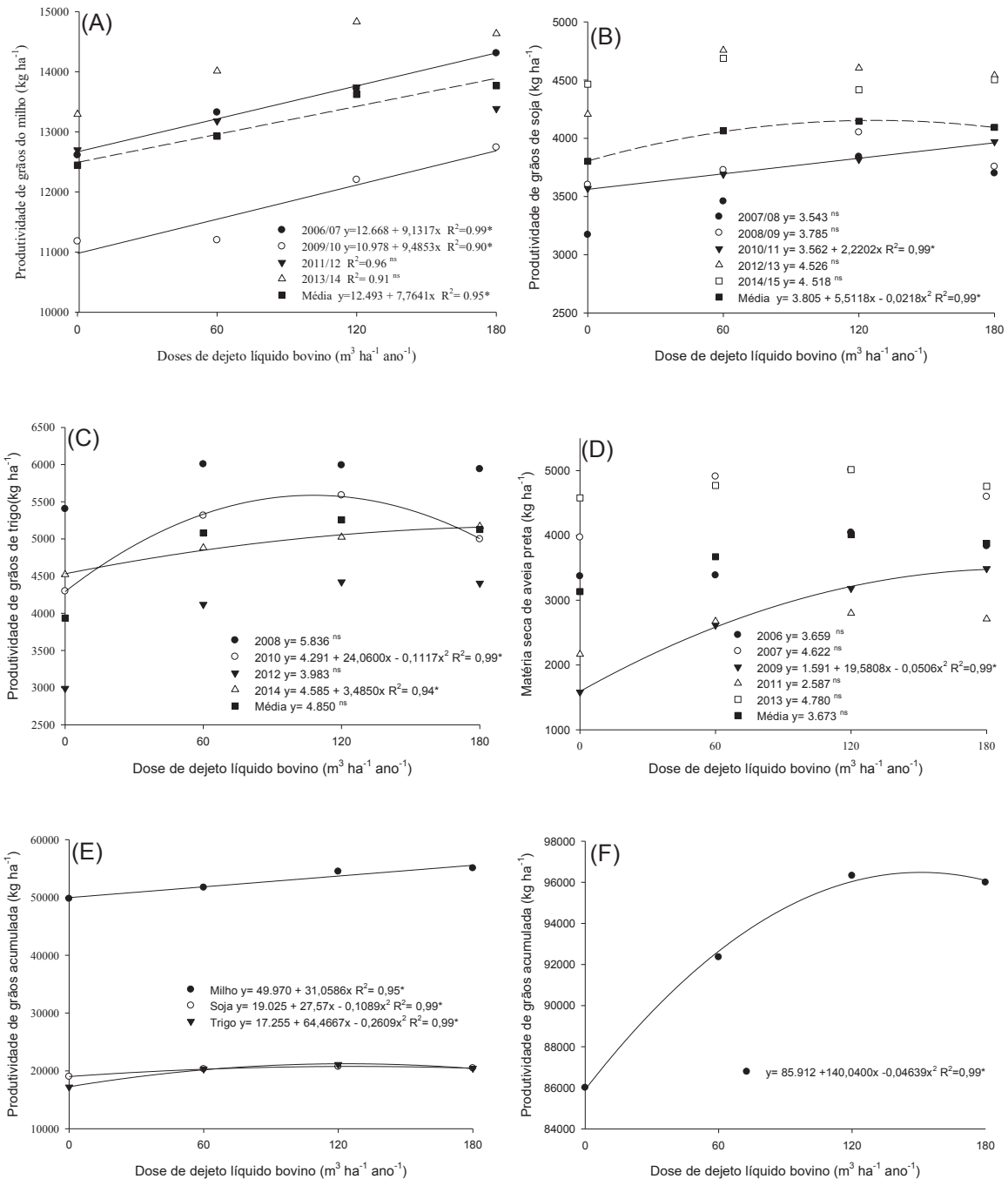
Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (teste de Bartlett) e, quando necessária, foi realizada transformação de Box-Cox. Posteriormente, os dados de produtividade de grãos e biomassa em função das doses de DLB foram submetidos à análise de regressão, adotando-se como critério para escolha do modelo a magnitude do R^2 e a significância dos coeficientes de regressão ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Com os dados das variáveis químicas do solo foi realizada análise de regressão e análise de variância (ANOVA) e, quando constatado efeito significativo ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Além disso, foi realizada análise de componentes principais (ACP) com os dados de produtividade acumulada de grãos (milho, soja, trigo e total) e variáveis químicas do solo na profundidade de 0-10 cm. A ACP foi efetuada a partir da matriz de correlação dos dados padronizados para média zero e variância um. As análises foram realizadas com o auxílio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011) e do Sigma Plot versão 11 (SYSTAT SOFTWARE, 2010).

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1 PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

A aplicação de dejetos líquidos bovinos (DLB) aumentou de forma linear a produtividade de grãos do milho nas safras 2006/07, 2009/10 e na média das safras (GRÁFICO 1A), sendo 13%, 13% e 10% superior, respectivamente, com a aplicação de $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ comparado ao tratamento controle ($0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DLB). Por outro lado, a aplicação de dejetos não alterou a produtividade desta cultura nas safras 2011/12 e 2013/14 (GRÁFICO 1A).

GRÁFICO 1 – PRODUTIVIDADE POR SAFRA E MÉDIA DAS SAFRAS DE MILHO (A), SOJA (B), TRIGO (C) E AVEIA PRETA (D), PRODUTIVIDADE ACUMULADA DE GRÃOS POR CULTURA (E) E PRODUTIVIDADE ACUMULADA TOTAL DE GRÃOS (MILHO + SOJA + TRIGO) DAS ESPÉCIES CULTIVADAS NO PERÍODO 2006-2014/15 (F), EM FUNÇÃO DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM CASTRO-PR.



*: significativo a 5%; ^{ns}: não significativo a 5%.

FONTE: O autor (2019).

O aumento na produtividade de grãos do milho pode estar relacionado ao N adicional fornecido pelo dejetos, sugerindo que o N fornecido pela fonte mineral (175 kg ha^{-1} em ambas as safras) não foi suficiente para obtenção do potencial de produção máximo desta espécie. Entretanto, nas safras 2011/12 e 2013/14 provavelmente o N fornecido pela fonte mineral supriu as necessidades da cultura, reduzindo os efeitos da aplicação de dejetos (PAULETTI et al., 2008). Além disso, a maior resposta do milho no início do experimento pode estar associada ao baixo teor de P na área antes da instalação do experimento (TABELA 1) (NEPAR, 2019). Sendo assim, o suprimento adicional de P pelo DLB contribuiu para o aumento da produtividade, evidenciado pela forte correlação positiva entre o teor de P (camada 0-10 cm) e a produtividade média de milho ($r= 0,82$).

Da mesma forma, Chivenge, Vanlauwe e Six (2011), Brar et al. (2015) e Menezes et al. (2018) verificaram aumento de 17%, 27% (36 anos de condução do experimento) e 11% na produtividade do milho, respectivamente, associando adubos orgânicos e minerais. Os autores atribuíram o incremento de produtividade à maior disponibilidade de nutrientes e, por consequência, maior extração destes pelas plantas.

Na soja cultivada na safra 2010/11 a aplicação de DLB aumentou de forma linear a produtividade da cultura, com incremento de 11%. Por outro lado, nas demais safras, a aplicação de dejetos não alterou a produtividade desta espécie. A produtividade média das safras aumentou com a aplicação de DLB, ajustando-se por regressão à função polinomial de segundo grau (GRÁFICO 1B), com dose estimada para a obtenção da máxima produtividade de $126 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (acréscimo de 9%). Efeitos benéficos de dejetos animais foram obtidos por outros autores. Sartor et al. (2012) e Mamia et al. (2018) constataram incremento na produtividade da soja associando adubos orgânico e mineral. Baghdadi et al. (2018) verificaram que a aplicação de 50% de esterco de aves + 50% de adubo mineral (NPK) resultou em produtividade de soja semelhante à dose 100% NPK.

A produtividade de grãos de trigo aumentou com a aplicação de DLB, de forma quadrática na safra 2010 e linear na safra 2014 (incremento de 14%). Por outro lado, a produtividade das demais safras, bem como da média das safras, não foi influenciada pela aplicação do dejetos (GRÁFICO 1C). Em 2010, a dose estimada para obtenção da máxima produtividade de trigo foi de $108 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com incremento de 30%, comparado ao tratamento controle. Quanto à aveia preta, a

aplicação de DLB aumentou a produtividade de biomassa, de forma quadrática, somente na safra 2009, com incremento expressivo de 120% (GRÁFICO 1D).

Concordando com estes dados, Brar et al. (2015) e Sheoran et al. (2017) observaram que a associação de adubo mineral e esterco aumentou a produtividade do trigo. Pauletti et al. (2008) não verificaram aumento na produtividade de matéria seca de aveia preta quando cultivada após a soja, destacando a contribuição da soja no fornecimento de N.

Na safra em que foi observado resposta da aveia preta à aplicação de DLB (2009), a produtividade de massa seca do tratamento controle (dose 0) foi muito baixa (1.581 kg ha^{-1}), em comparação com as outras safras (média do tratamento controle de 3.521 kg ha^{-1}). Provavelmente, a baixa produtividade está associada a fatores bióticos e abióticos, como precipitação, temperatura, radiação solar e doenças. Assim, além da oferta adicional de nutrientes, a aplicação de dejetos pode ter melhorado outros aspectos no solo, favorecendo o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade da cultura.

A aplicação de DLB, por nove anos, resultou em grande variação na resposta em cada safra, fato também constatado por Ceretta et al. (2003) com aplicação de dejetos líquido suíno. Um dos fatores que pode ter contribuído é a ausência de controle sobre a qualidade do dejetos, o qual apresentou variação em suas características (TABELA 2), bem como as condições de clima que podem variar, influenciando na resposta da aplicação.

Ao avaliar a produtividade acumulada de grãos de cada cultura, verificou-se aumento linear para o milho (10%) e quadrático para soja (9%) e trigo (23%) (GRÁFICO 1E). As doses estimadas para a obtenção da máxima produtividade foram 127 e $123 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para soja e trigo, respectivamente. Da mesma forma, Sartor et al. (2012) observaram maior resposta de milho e trigo em relação à soja, com aplicação de dejetos líquido suíno.

Um dos fatores que pode ter contribuído para o aumento linear na produtividade do milho e maior resposta do trigo (espécies da família Poaceae) à aplicação de dejetos é o fornecimento adicional de N. Em contrapartida, a soja resultou em menor resposta, uma vez que nesta cultura o N é suprido via fixação biológica (FBN), corroborando com Pauletti et al. (2008). A maior produtividade do trigo associada a uma dose menor de dejetos, comparado ao milho, pode estar

relacionada ao acamamento das plantas quando aplicadas doses elevadas de N (ZAGONEL; FERNANDES, 2007).

A produtividade acumulada de grãos de todas as espécies no período de avaliação (2006-2014/15) aumentou até a dose de $151 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (GRÁFICO 1F), resultando em acréscimo de 12%, em comparação à ausência de aplicação do DLB. A associação de adubos minerais e orgânicos atende a necessidade das culturas com o fornecimento de forma lenta, porém contínua, de macro e micronutrientes, resultando em melhor crescimento e cobertura vegetal, conforme destacado por Sheoran et al. (2017). Além do aspecto químico, a aplicação balanceada de dejetos e adubo mineral melhora as propriedades físicas e microbianas do solo, que favorece o desenvolvimento radicular das plantas, aumentando a produtividade das culturas (KUNDU et al., 2007; ABEDI; ALEMZADEH; KAZEMEINI, 2010; BHATTACHARYYA et al., 2010; BRAR et al., 2015).

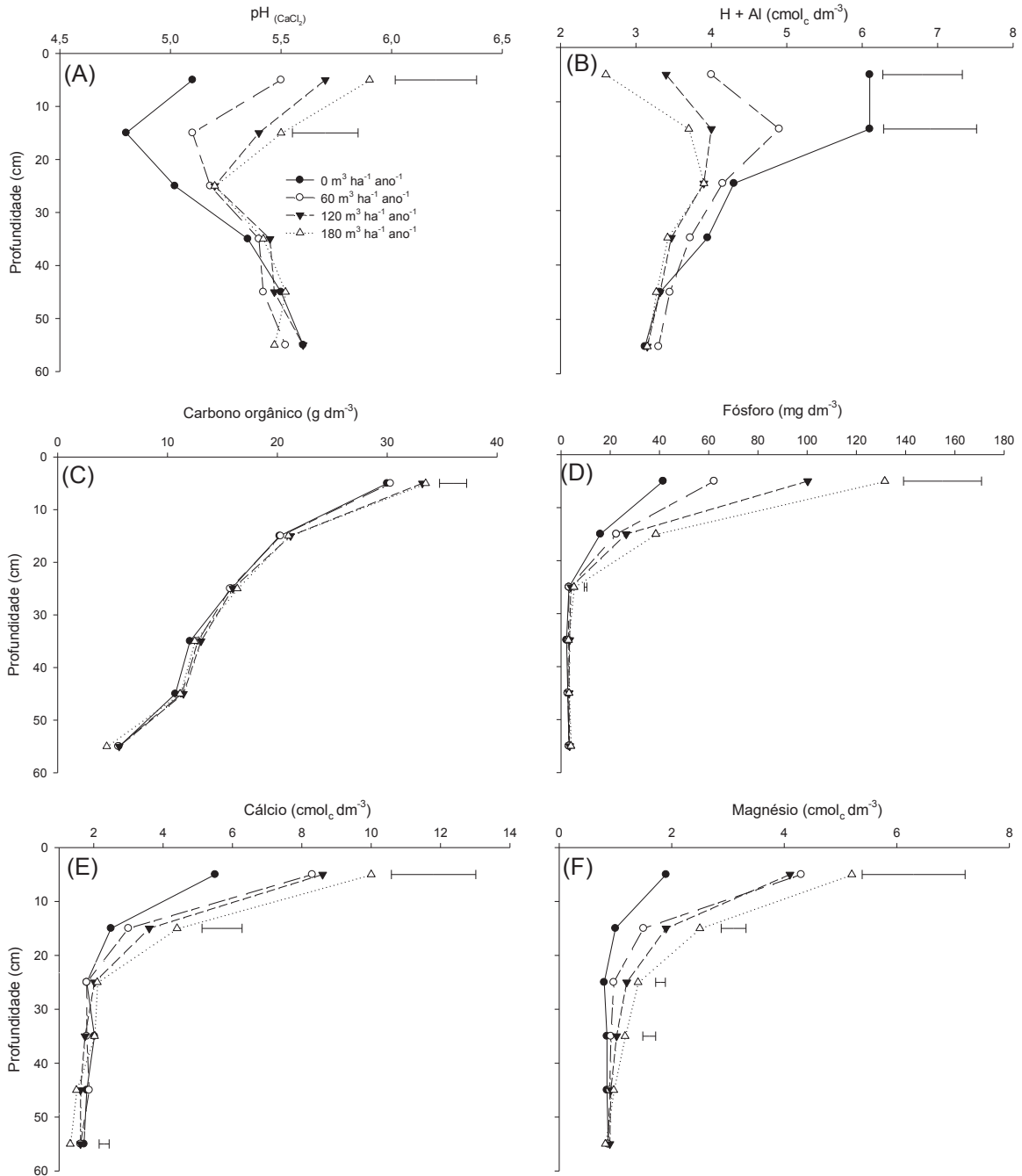
2.5.2 FERTILIDADE DO SOLO

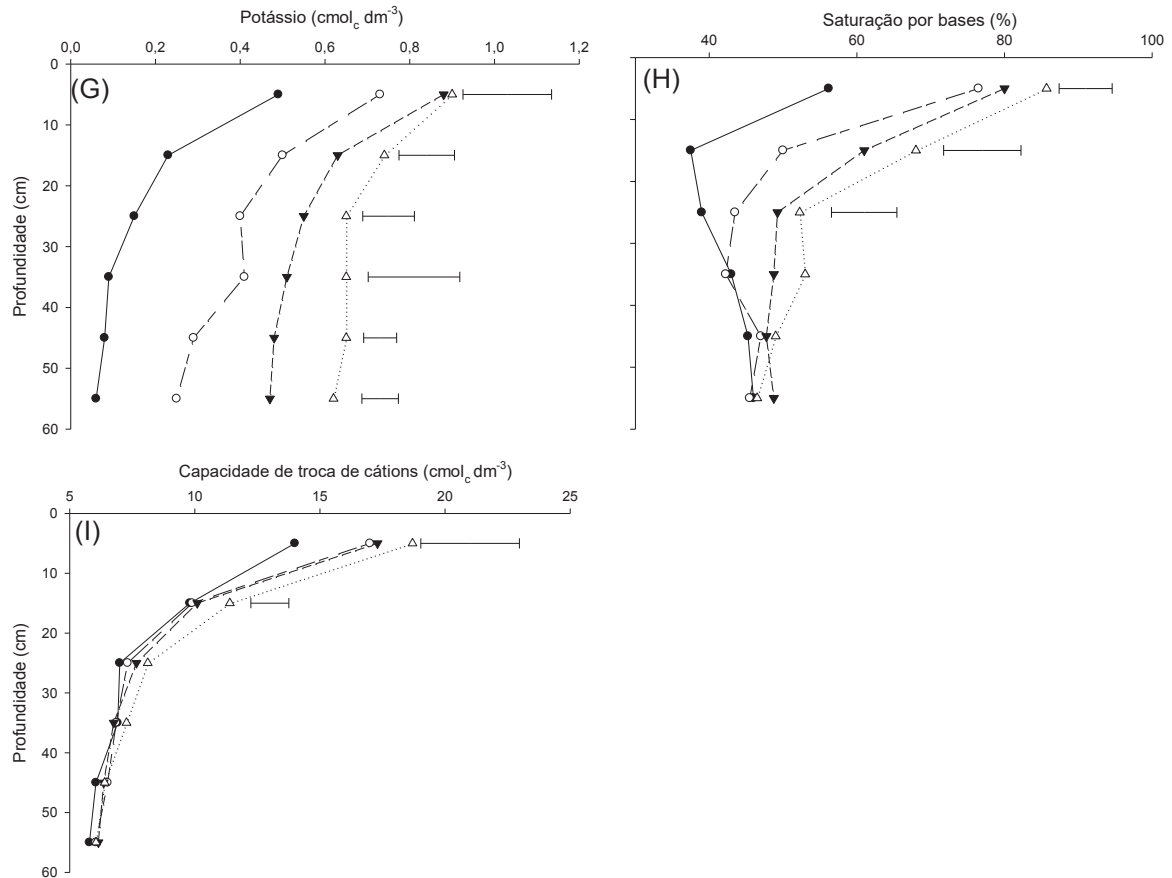
Transcorridos oito anos e dois meses de manejo da adubação, verificou-se que o DLB teve efeito em todas as variáveis químicas do solo avaliadas (GRÁFICO 2).

A aplicação de DLB aumentou o pH e reduziu a acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) do solo até 20 cm de profundidade (GRÁFICO 2A, GRÁFICO 2B), evidenciando o efeito alcalinizante deste, devido à presença de carbonatos e bicarbonatos, que são adicionados na alimentação animal e excretados no esterco, e adição de cal hidratada nas camas dos animais em confinamento. Além disso, outros compostos, tais como ácidos orgânicos, dos grupos carboxil e hidroxil fenólicos presentes no dejetos, também possuem importante papel no tamponamento da acidez do solo e no aumento do pH do solo (WHALEN, 2000).

Para cada m^3 de dejetos aplicado anualmente foi verificado aumento médio de 0,0043 e 0,0040 unidade na escala de pH após oito anos e dois meses de aplicações, nas camadas 0-10 e 10-20 cm, respectivamente (TABELA 5). Valores inferiores, mas próximos ao obtido por Silva et al. (2008) na camada de 0-5 cm, que para cada m^3 de esterco bovino aplicado anualmente verificaram aumento linear médio de 0,0047 unidade na escala de pH, após seis anos de aplicações em Latossolo Bruno Distroférrico, textura argilosa.

GRÁFICO 2 – pH EM CaCl_2 (A), ACIDEZ POTENCIAL ($\text{H} + \text{Al}$) (B), TEOR DE CARBONO ORGÂNICO (C), FÓSFORO (RESINA) (D), CÁLCIO (E), MAGNÉSIO (F), POTÁSSIO (G), SATURAÇÃO POR BASES (H) E CAPACIDADE DE TROCA DE CÂTIONS (I) EM SEIS PROFUNDIDADES DE UM LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico, APÓS OITO ANOS E DOIS MESES DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO.





Primeira aplicação dos tratamentos em maio de 2006 e amostragem do solo em julho de 2014 (Tukey DMS, $p < 0,05$).

FONTE: O autor (2019).

O efeito da aplicação de dejetos na correção da acidez em profundidade também foi observado com a aplicação sucessiva de dejetos líquidos suínos por Lourenzi et al. (2011) e Lourenzi et al. (2016). Borgo (2011) na mesma área, quatro anos após a primeira aplicação do DLB, observou aumento do pH e diminuição da acidez potencial (H + Al) somente na camada superficial (0-10 cm). Assim, considerando os dados da literatura e do presente trabalho, fica evidente o efeito do dejetos no perfil do solo com o passar do tempo.

A aplicação de dejetos reduziu a acidez potencial (H + Al) do solo até 20 cm, sobretudo com aplicação de 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (GRÁFICO 2B), corroborando com Silva et al. (2008). O aumento do pH pode formar espécies de Al insolúveis com consequente redução do conteúdo de H + Al no solo, além do aumento das bases trocáveis proporcionado pela aplicação do dejetos, as quais competem pelos sítios de troca, diminuindo o conteúdo de H + Al (RAIJ et al., 1997). No tratamento sem

aplicação de dejetos, verificou-se aumento de $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na acidez potencial, nas camadas 0-10 e 10-20 cm (GRÁFICO 2B).

TABELA 5 – EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA pH EM CaCl_2 , FÓSFORO (P), CÁLCIO (Ca), MAGNÉSIO (Mg), POTÁSSIO (K) E SATURAÇÃO POR BASES (V%) ATÉ 60 CM DE PROFUNDIDADE, APÓS OITO ANOS E DOIS MESES DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico.

Variável	Equações de regressão			
	0-10 cm	R ²	10-20 cm	R ²
pH	$y = 5,160 + 0,0043x$	0,95*	$y = 4,840 + 0,0040x$	0,94*
P	$y = 37,650 + 0,5133x$	0,98*	$y = 15,150 + 0,1192x$	0,95*
Ca	$y = 6,030 + 0,0230x$	0,84*	$y = 2,430 + 0,0105x$	0,98*
Mg	ns		$y = 0,935 + 0,0085x$	0,99*
K	$y = 0,543 + 0,0023x$	0,88*	$y = 0,276 + 0,0028x$	0,95*
V (%)	ns		$y = 38,750 + 0,1708x$	0,98*
Variável	20-30 cm	R ²	30-40 cm	R ²
pH	ns		ns	
P	ns		ns	
Ca	ns		ns	
Mg	$y = 0,788 + 0,0034x$	0,99*	$y = 0,831 + 0,0018x$	0,97*
K	$y = 0,190 + 0,0028x$	0,96*	$y = 0,148 + 0,0030x$	0,93*
V (%)	$y = 39,17 + 0,00758x$	0,99*	ns	
Variável	40-50 cm	R ²	50-60 cm	R ²
pH	ns		ns	
P	ns		ns	
Ca	ns		ns	
Mg	$y = 0,853 + 0,0006x$	0,97*	ns	
K	$y = 0,090 + 0,0032x$	0,99*	$y = 0,065 + 0,0032x$	0,99*
V (%)	$y = 45,45 + 0,0200x$	0,98*	ns	

*: significativo a 5%; ns: não significativo a 5%. Primeira aplicação dos tratamentos em maio de 2006 e coleta do solo em julho de 2014.

FONTE: O autor (2019).

O teor de carbono orgânico (CO) aumentou com a aplicação de doses de DLB apenas na camada superficial (0-10 cm) (GRÁFICO 2C). Nesta camada, a aplicação de 120 e $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DLB resultou em incremento de 11% e 12% no CO, comparado ao tratamento controle, respectivamente. O efeito superficial é decorrente da aplicação do dejetos na superfície e o não revolvimento do solo e, pode ser devido a uma ação direta da adição de carbono via dejetos ou indireta, pelo incremento da adição de biomassa radicular e aérea das culturas. De modo geral, ocorre maior acréscimo no CO com o aumento da dose aplicada e tempo de aplicação (BHATTACHARYYA et al., 2010; SILVA et al., 2010). Maillard et al. (2016), após 21 anos de aplicação de esterco observaram incremento no estoque de CO até 20 cm, em solo com textura argilosiltosa.

O teor de fósforo (P) aumentou com a aplicação de DLB até 30 cm (GRÁFICO 2D), sendo de forma linear até 20 cm (TABELA 5). O incremento de P em profundidade (20-30 cm) pode estar relacionado à presença de canais preferenciais, comuns em áreas de plantio direto. Outros autores também observaram aumento no teor de P com uso de esterco de bovinos, em camadas mais superficiais (5 cm) (SILVA et al., 2010), bem como até camadas mais profundas (30 cm) (SINGH et al., 2007).

Na camada 0-10 cm, a aplicação de 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLB aumentou 141% e 217%, respectivamente, o teor de P comparado ao tratamento controle. Por outro lado, na camada 10-20 cm, esse aumento foi de 18% e 45% para as mesmas doses. O efeito mais evidente da aplicação de dejetos sobre o P em superfície (0-10 cm) se deve à predominância de óxidos de Fe e Al no solo estudado, que, por apresentar alto grau de adsorção específica com o P (VILAR et al., 2010), dificultam o deslocamento deste nutriente em profundidade. Além disso, o fator manejo do solo contribuiu para que isso ocorresse, tendo em vista que no sistema plantio direto a aplicação é superficial e sem incorporação e, os resíduos das plantas são mantidos na superfície.

O aumento no teor de matéria orgânica incrementa as cargas negativas, contribuindo para a redução da sorção do P por repulsão (SINGH et al., 2007). Assim, além da oferta adicional de P ao solo pelo esterco que resultou em maior saldo positivo em relação à exportação pelas colheitas, outro fator que pode ter contribuído para o aumento do teor disponível deste nutriente no solo é a redução na fixação/sorção do P aplicado, devido ao aumento do teor de matéria orgânica (CO) na camada 0-10 cm. Apesar da aplicação das maiores doses de dejetos aumentarem o teor de P acima do nível interpretado como alto (41-80 mg kg⁻¹) (RAIJ et al., 1997), o teor está abaixo do nível considerado crítico ambientalmente, que é 188 mg kg⁻¹ de P para um Latossolo com textura franco-argiloarenosa, segundo Abboud et al. (2018). Estes mesmos autores não conseguiram determinar o nível crítico ambiental para o solo com textura muito argilosa, mesmo com teores de P acima de 120 mg kg⁻¹.

A aplicação de dejetos aumentou o teor de cálcio (Ca) até 20 cm (GRÁFICO 2E), devido ao fornecimento deste elemento pelo DLB (teor médio de 2,24 g L⁻¹ de CaO). Esse efeito ajustou-se por regressão à função linear em ambas as camadas (TABELA 5), com acréscimo de 0,023 e 0,010 cmol_c dm⁻³, para as camadas 0-10 e

10-20 cm, respectivamente, para cada m^3 de dejetos adicionado anualmente ao solo durante oito anos e dois meses (TABELA 5). Silva et al. (2008), na camada 0-5 cm, observaram que cada m^3 de esterco bovino adicionado anualmente ao solo aumentou $0,0113 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ o Ca após um período de seis anos em Latossolo Bruno Distroférico, textura argilosa.

Em geral, é verificado maior incremento de Ca em superfície, devido à alta energia de ligação dos íons Ca às cargas negativas dos colóides (série liotrópica), sobretudo em sistemas sem revolvimento do solo e com o uso de adubos e corretivos de acidez na superfície. Provavelmente, o alto teor inicial de Ca ($5,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada 0-10 cm) (NEPAR, 2019) contribuiu para o deslocamento vertical do nutriente, sendo isto importante para o crescimento radicular em profundidade e, conseqüentemente, para o suprimento de nutrientes e água às plantas. O Ca é essencial na divisão celular e é absorvido praticamente todo na coifa da raiz, além de ser considerado imóvel na planta (HAWKESFORD et al., 2012), por isso seu adequado suprimento em profundidade favorece o crescimento radicular nesta região.

O teor de magnésio (Mg) aumentou com a aplicação de DLB até 40 cm (GRÁFICO 2F), sendo que, nas profundidades 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm esse incremento foi linear (TABELA 5). Da mesma forma, esse efeito é decorrente da adição do nutriente por oito anos e dois meses consecutivos com o DLB (teor médio de $1,46 \text{ g L}^{-1}$ de MgO). Os íons Mg tendem a se deslocar com maior facilidade em profundidade em relação ao Ca, devido à menor energia de ligação aos colóides (série liotrópica). Assim como neste trabalho, Silva et al. (2008) e Lourenzi et al. (2016) verificaram maior deslocamento de Mg em profundidade que de Ca.

O teor de potássio (K) aumentou de forma linear com a aplicação de DLB, sendo que este efeito foi verificado em todas as camadas avaliadas (GRÁFICO 2H, TABELA 5), corroborando com Hao e Chang (2003) após 25 anos de aplicação de esterco bovino. O incremento se deve ao fornecimento deste nutriente pelo DLB e pelo adubo mineral, associado ao alto teor inicial de K ($0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada 0-10 cm) (NEPAR, 2019), sendo deslocado mais em profundidade devido à menor energia de ligação aos colóides, em relação ao Ca e Mg (série liotrópica). Silva et al. (2010) e Barcellos et al. (2015) verificaram aumento no teor de K até 80 cm após seis anos de aplicação de esterco líquido bovino.

A saturação por bases (V%) foi afetada pela aplicação de DLB até 30 cm (GRÁFICO 2H), ajustando-se por regressão à função linear nas camadas 10-20, 20-30 e 40-50 cm (TABELA 5). Esses dados foram condizentes com o aumento dos teores de Ca, Mg e K proporcionado pela aplicação de dejetos, além da redução na acidez potencial e o aumento no teor de CO, que contribuiu para a adsorção de cátions no solo (SILVA et al., 2008; LOURENZI et al., 2011; BARCELLOS et al., 2015). Silva et al. (2008) verificaram aumento na V% até 10 cm, Lourenzi et al. (2011) até 12 cm e Brunetto et al. (2012) até 30 cm, após seis, oito e oito anos de aplicação de esterco líquido bovino e suíno, respectivamente.

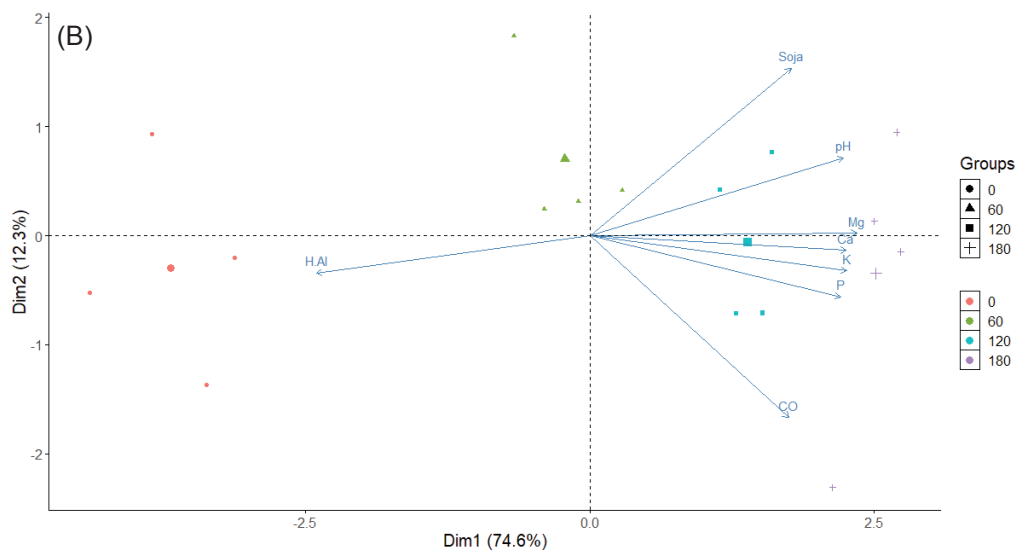
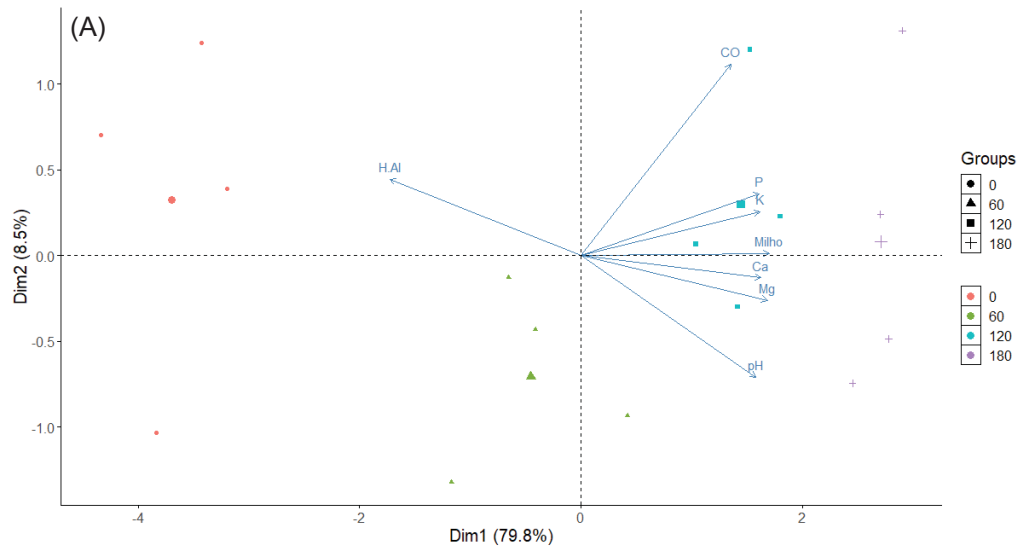
Durante o experimento foram realizadas duas aplicações de corretivo de acidez (2007 e 2013) e na ausência de aplicação de DLB a V% reduziu (GRÁFICO 2I), evidenciando o efeito de acidificação da adubação mineral e da exportação de bases. Com a aplicação de qualquer dose de DLB este efeito de acidificação foi neutralizado, além de proporcionar aumento da V%, diminuindo a necessidade de calagem.

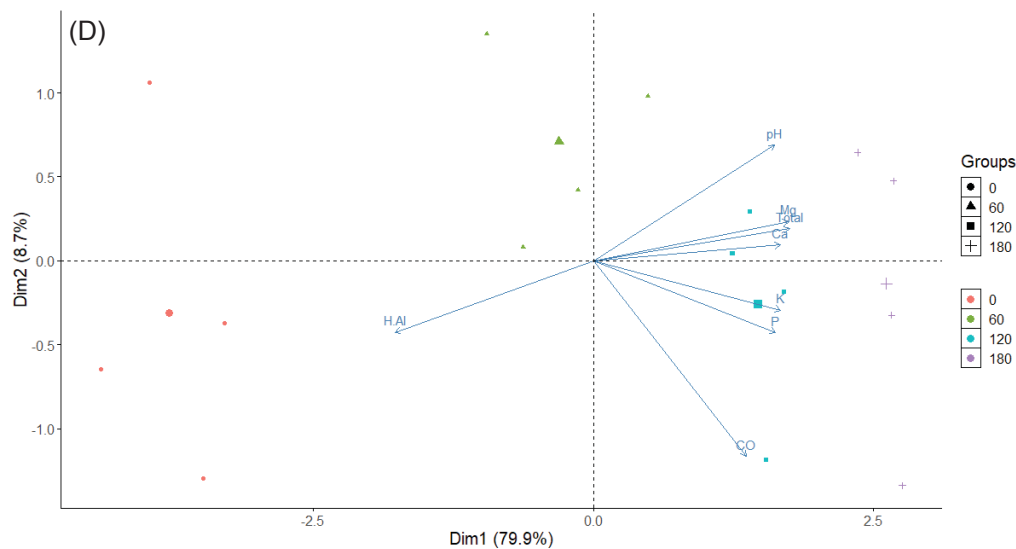
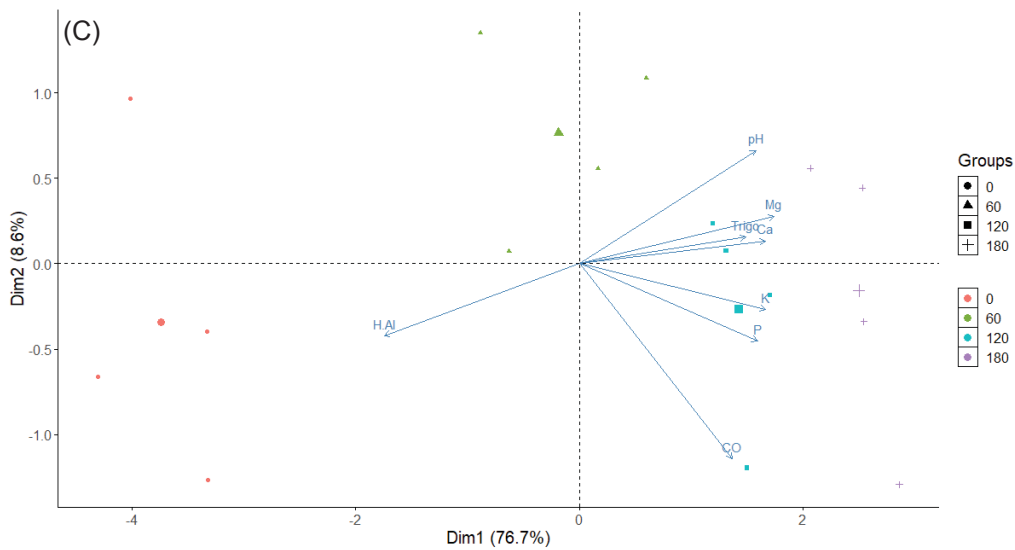
A aplicação de DLB aumentou a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo até 20 cm (GRÁFICO 2I), alterando de média para alta na camada 0-10 cm (NEPAR, 2019). O aumento do teor de CO (GRÁFICO 2C) contribuiu para este efeito do DLB (RAIJ, 1969; SANTOS et al., 2009). Verificou-se correlação moderada ($r=0,58$) entre os teores de CO e CTC do solo na camada 0-10 cm. Salienta-se que o aumento da CTC favorece a adsorção de cátions que são adicionados ao solo com a aplicação de dejetos, como K, Ca e Mg (BRUNETTO et al., 2012).

2.5.3 VARIÁVEIS QUÍMICAS QUE INFLUENCIARAM A PRODUTIVIDADE

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada com os dados de produtividade acumulada de grãos por espécie e total (soma da produtividade de grãos obtida nas 13 safras avaliadas) e as variáveis químicas do solo na camada 0-10 cm, tendo em vista que nesta camada foi observada maior alteração com a aplicação de DLB. O aumento na produtividade acumulada foi decorrente da melhoria em todas as variáveis químicas avaliadas, sendo que os componentes 1 e 2 representaram aproximadamente 88%, 87%, 85% e 89% da capacidade de explicar a variância dos dados para milho, soja, trigo e total, respectivamente (GRÁFICO 3).

GRÁFICO 3 - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS COM PRODUTIVIDADE ACUMULADA DE GRÃOS DE MILHO (A), SOJA (B), TRIGO (C), TOTAL (MILHO + SOJA + TRIGO) (D) E VARIÁVEIS QUÍMICAS DO SOLO NA PROFUNDIDADE 0-10 CM, APÓS OITO ANOS E DOIS MESES DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico.





FONTE: O autor (2019).

As produtividades das espécies da família Poaceae (milho e trigo) apresentaram maior correlação com as variáveis químicas do solo. Para o milho foi verificada correlação altamente positiva entre produtividade de grãos e os teores de bases trocáveis e P (GRÁFICO 3A), enquanto a produtividade do trigo apresentou maior correlação com os teores de Ca e Mg (GRÁFICO 3C). Na soja, cultura com menor resposta à aplicação de dejetos, a correlação entre produtividade de grãos e variáveis do solo foi fraca (GRÁFICO 3B). Considerando a produtividade acumulada total de grãos, do mesmo modo, foi observada correlação altamente positiva com as bases do solo, sobretudo Ca e Mg. A maior acidez potencial influencia negativamente a produtividade (GRÁFICO 3).

2.6 CONCLUSÕES

A aplicação de dejetos líquidos bovinos (DLB) por longo prazo, adicional à adubação mineral, em solo com textura muito argilosa, sob plantio direto, aumenta a produtividade de soja, trigo e milho, com dose média máxima para todas as culturas de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

A aplicação de DLB por longo prazo, em adição à adubação mineral, em solo com textura muito argilosa, melhora todas as variáveis químicas do solo e, mesmo aplicado na superfície, tem efeito em profundidade.

O incremento na produtividade de grãos com a aplicação de DLB, adicional à adubação mineral, por longo prazo, em solo com textura muito argilosa, é atribuído à melhoria de variáveis químicas do solo, sendo que o aumento das bases trocáveis e a redução da acidez do solo são fundamentais para a expressão máxima do potencial produtivo das culturas.

2.7 REFERÊNCIAS

- ABBOUD, F. Y.; FAVARETTO, N.; MOTTA, A. C. V., BARTH, G.; GOULART, G. D. Phosphorus mobility and degree of saturation in Oxisol under no-tillage after long-term dairy liquid manure application. **Soil and Tillage Research**, [S.l.], v. 177, p. 45-53. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.11.014>. Acesso em: 05 nov. 2019.
- ABBOUD, F. Y. **Mobilidade de nutrientes no perfil do solo em plantio direto com aplicação de dejetos líquidos bovinos em longo prazo**. 2016. 64f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
- ABEDI, T.; ALEMZADEH, A.; KAZEMEINI, A. Effect of organic and inorganic fertilizers on grain yield and protein banding pattern of wheat. **Australian Journal of Crop Science**, [S.l.], v. 4, n. 6, p. 384-389, 2010.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.l.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- BAGHDADI, A.; HALIM, R. A.; GHASEMZADEH, A.; RAMLAN, M. F.; SAKIMIN, S. Z. Impact of organic and inorganic fertilizers on the yield and quality of silage corn intercropped with soybean. **Peer Journal**, [S.l.], v. 6, p. 2-26, 2018. Disponível em: [10.7717/peerj.5280](https://doi.org/10.7717/peerj.5280). Acesso em: 06 nov. 2019.

BARCELLOS, M.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V.; SILVA, J. C. P. M.; BARBOSA, J. Z. Atributos químicos de Latossolo sob plantio direto adubado com esterco de bovinos e fertilizantes minerais. **Communicata Scientiae**, [S.l.], v. 6, n. 3, p. 263-273, 2015. Disponível em: 10.14295/CS.v6i3.527. Acesso em: 05 nov. 2019.

BHATTACHARYYA, R.; PRAKASH, V.; KUNDU, S.; SRIVASTVA, A. K.; GUPTA, H. S.; MITRA, S. Long term effects of fertilization on carbon and nitrogen sequestration and aggregate associated carbon and nitrogen in the Indian sub-Himalayas. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [S.l.], v. 86, p. 1-16, 2010. Disponível em: 10.1007/s10705-009-9270-y. Acesso em: 05 nov. 2019.

BORGO, J. **Aplicações sucessivas de dejetos líquidos de bovinos em solos sob plantio direto: fertilidade do solo, produtividade e absorção de nutrientes em milho**. 2011. 82f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

BRAR, B. S.; SINGH, J. SINGH, G.; KAUR, G. Effects of long term application of inorganic and organic fertilizers on soil organic carbon and physical properties in maize–wheat rotation. **Agronomy**, [S.l.], v. 5, p. 220-238, 2015. Disponível em: doi:10.3390/agronomy5020220. Acesso em: 05 nov. 2019.

BRUNETTO, G., COMIN, J. J., SCHMITT, D. E., GUARDINI, R., MEZZARI, C. P., OLIVEIRA, B. S., MORAES, M. P., GATIBONI, L. C., LOVATO, P. E.; CERETTA, C. A. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy typic Hapludalf after medium-term pig-slurry and deep-litter application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1620-1628, 2012.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 729-735, 2003.

CHIVENGE, P.; VANLAUWE, B.; SIX, J. Does the combined application of organic and mineral nutrient sources influence maize productivity? A meta-analysis. **Plant and Soil**, [S.l.], v. 342, p. 1-30, 2011. Disponível em: 10.1007/s11104-010-0626-5. Acesso em: 05 nov. 2019.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2018.

HAO, X.; CHANG, C. Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 94, p. 89-103, 2003.

HAO, X. J.; ZHANG, T. Q.; TAN, C. S.; WELACKY, T.; WANG, Y. T.; LAWRENCE, D.; HONG, J. P. Crop yield and phosphorus uptake as affected by phosphorus-based swine manure application under long-term corn-soybean rotation. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [S.l.], v. 103, p. 217-228, 2015. Disponível em: 10.1007/s10705-015-9735-0. Acesso em: 05 nov. 2019.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed.). **Mineral nutrition of higher plants**. London: Elsevier, 2012. p. 135-189.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016.

KAPKIYAI, J. J., KARANJA, N. K., QURESHI, J. N., SMITHSON, P. C.; WOOMER, P. L. Soil organic matter and nutrient dynamics in a Kenyan Nitisol under long-term fertilizer and organic input management. **Soil Biology and Biochemistry**, [S.l.], v. 31, p. 1773-1782, 1999.

KUNDU, S.; BHATTACHARYYA, R.; PRAKASH, V.; GUPTA, H. S.; PATHAK, H.; LADHA, J. K. Long-term yield trend and sustainability of rainfed soybean–wheat system through farmyard manure application in a sandy loam soil of the Indian Himalayas. **Biology and Fertility of Soils**, [S.l.], v. 43, p. 271-280, 2007. Disponível em: 10.1007/s00374-006-0102-9. Acesso em: 05 nov. 2019.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; TENTIN, G.; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; BRUNETTO, G. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1827-1836, 2011.

LOURENZI, C. R.; SCHERER, E. E.; CERETTA, C. A.; TIECHER, T. L.; CANCIAN, A.; FERREIRA, P. A. A.; BRUNETTO, G. Atributos químicos de Latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejetos líquido de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 51, p. 233-242, 2016.

MAILLARD, É.; ANGERS, D. A.; CHANTIGNY, M.; LAFOND, J.; PAGEAU, D.; ROCHETTE, P.; LÉVESQUE, G.; LECLERC, M-L.; PARENT L,-É. Greater accumulation of soil organic carbon after liquid dairy manure application under cereal-forage rotation than cereal monoculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 233, p. 171-178, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.01>. Acesso em: 05 nov. 2019.

MAMIA, A.; AMIN, A. K. M. R.; ROY, T. S.; FARUK, G. M. Influence of inorganic and organic fertilizers on growth and yield of soybean. **Bangladesh Agronomy Journal**, [S.l.], v. 21, p. 77-81, 2018.

MELLEK, J. E.; DIECKOW, J.; SILVA, V. L.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F. M.; SOUZA, J. L. M. Dairy liquid manure and no-tillage: physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambissol of Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, [S.l.], v. 110, p. 69-76, 2010. Disponível em: doi:10.1016/j.still.2010.06.005. Acesso em: 05 nov. 2019.

MENEZES, J. F. S.; BERTI, M. P. S.; VIEIRA JUNIOR, V. D.; RIBEIRO, R. L.; BERTI, C. L. F. Extração e exportação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo milho adubado com dejetos de suínos. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 5, n. 3, p. 55-59, 2018.

NEPAR - Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

PAULETTI, V.; BARCELLOS, M.; MOTTA, A. C. V.; MONTE SERRAT, B.; SANTOS, I. R. Produtividade de culturas sob diferentes doses de esterco líquido de gado de leite e de adubo mineral. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 199-205, 2008.

RAIJ, B. VAN.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, Â. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997.

RAIJ, B. VAN. Capacidade de troca catiônica das frações orgânicas e minerais dos solos. **Bragantia**, [s.l.], v. 28, p. 85-112, 1969. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051969000100008>. Acesso em: 22 dez. 2019.

RAIJ, B. VAN; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2011. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 05 nov. 2019.

SANTOS, V. R.; FILHO, G. M.; SANTOS, C. G.; SANTOS, M. A. L.; CUNHA, J. L. X. L. Contribuição de argilominerais e da matéria orgânica na CTC dos solos do estado de Alagoas. **Revista Caatinga**, [S.l.], v. 22, n. 1, p. 27-36, 2009.

SARTOR, L. R.; ASSMANN, A. L.; ASSMANN, T. S.; BIGOLIN, P. E.; MIYAZAWA, M.; CARVALHO, P. C. F. Effect of swine residue rates on corn, common bean, soybean and wheat yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 661-669, 2012.

SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004.

SILVA, J. C. P. M.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V.; FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A. S.; VELOSO, C. M.; SILVA, L. F. C. Esterco líquido de bovinos leiteiros combinado com adubação mineral sobre atributos químicos de um Latossolo Bruno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 32, p. 2563-2572, 2008.

SHEORAN, S.; RAJ, D.; ANTIL, R. S.; MOR, V. S.; DAHIYA, D. S. Productivity, seed quality and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum*) under organic, inorganic and integrated nutrient management practices after twenty years of fertilization. **Cereal Research Communications**, [S.l.], v. 45, n. 2, p. 315-325, 2017.

SILVA, J. C. P. M.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V.; VELOSO, C. M.; FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A. S.; SILVA, L. F. C. Esterco de gado leiteiro

associado a adubação mineral e sua influência na fertilidade de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 34, p. 453-463, 2010.

SINGH, M.; REDDY, K. S.; SINGH, V. P.; RUPA, T. R. Phosphorus availability to rice (*Oriza sativa* L.) – wheat (*Triticum aestivum* L.) in a Vertisol after eight years of inorganic and organic fertilizer additions. **Bioresource Technology**, [S.l.], v. 98, p. 1474-1481, 2007. Disponível em: 10.1016/j.biortech.2006.02.045. Acesso em: 05 nov. 2019.

SYSTAT SOFTWARE. **Sigmaplot for Windows Version 11.0**. San José: Systat Software Inc., 2010. Disponível em: <https://systatsoftware.com/products/sigmaplot/>. Acesso em: 11 dez. 2019.

TIMOFIECSYK, A. **Perda de solo, água e nutrientes com aplicação de dejetos líquido bovino sob plantio direto e chuva natural em Latossolo Bruno**. 2009. 72f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

VILAR, C. C.; COSTA, A. C. S.; HOEPERS, A.; JUNIOR, I. G. S. Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 34, p. 1059-1068, 2010.

WHALEN, J. K.; CHANG, C.; CLAYTON, G. W.; CAREFOOT, J. P. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, [S.l.], v. 64, p. 962-966, 2000.

ZAGONEL, J.; FERNANDES, E. C. Doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 331-339, 2007.

3 CAPÍTULO II: PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E FERTILIDADE DE UM SOLO COM TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA APÓS APLICAÇÃO DE DEJETO BOVINO EM LONGO PRAZO

3.1 RESUMO

A expansão da atividade leiteira tem resultado no aumento do volume de dejetos produzidos, o qual possui como principal destino a aplicação em áreas agrícolas. O objetivo do trabalho foi indicar a dose de dejetos líquidos bovinos (DLB) aplicados em longo prazo, adicional ao adubo mineral, para maior produtividade das culturas em rotação aveia preta-milho-trigo-soja, e identificar as variáveis químicas do solo modificadas pelo dejetos que mais afetam a produtividade de grãos, em solo com textura franco-argiloarenosa. O experimento foi conduzido de 2005/06 a 2014/15, na estação experimental da Fundação ABC, em Ponta Grossa, estado do Paraná, sob um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico. Os tratamentos consistiram em quatro doses de DLB (0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), em adição à adubação mineral (mesma quantidade para todos os tratamentos). Cada dose de DLB foi aplicada na superfície do solo, sem incorporação, metade na safra de inverno e metade na safra de verão. Foram avaliadas a produtividade de massa seca de cinco safras de aveia preta, e a produtividade de grãos de cinco safras de milho, cinco de soja e três safras de trigo, bem como a média das safras para cada cultura. Nove anos e cinco meses após a primeira aplicação de dejetos, amostras de solo foram coletadas até 60 cm para avaliação das variáveis químicas. A aplicação de DLB contribuiu para a elevação do potencial produtivo do milho e da aveia preta. Por outro lado, na soja e no trigo o uso de dejetos não teve efeito na produtividade. Após nove anos e cinco meses de manejo da adubação, a aplicação de DLB melhorou todas as variáveis químicas avaliadas do solo e, mesmo aplicado na superfície, teve efeito em camadas profundas. A produtividade do milho, espécie que foi influenciada pela aplicação do DLB, apresentou maior correlação com as variáveis químicas do solo, sobretudo com o pH (positiva) e acidez potencial (negativa). Enquanto com a produtividade da soja e do trigo, culturas que não apresentaram resposta à aplicação de dejetos, verificou-se correlação mais fraca com as variáveis do solo analisadas. Em solo com textura franco-argiloarenosa, a dose média de DLB, adicional à adubação mineral, para obtenção de máxima produtividade das culturas em rotação aveia preta-milho-trigo-soja é de 150 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ e o efeito da aplicação de DLB na produtividade de grãos é atribuído à melhoria nas variáveis de acidez do solo.

Palavras-chave: Manejo de adubação. Adubação orgânica. Resíduo de animais. Culturas anuais. Nutrientes no solo.

3.2 ABSTRACT

The dairy activity expansion has resulted in increased manure volume produced, whose main destination is the application in agricultural areas. The aim of the work was to indicate the dose of dairy liquid manure (DLM) applied in long-term, in addition to the mineral fertilizer, for higher crops yield in rotation black oat-maize-wheat-soybean, and to identify the soil chemical variables modified by manure that most affect the grain yield, in soil with sandy clay loam texture. The experiment was conducted from 2005/06 to 2014/15, at the ABC Foundation experimental station, in Ponta Grossa, Paraná state, under a Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico. The treatments consisted by four doses of DLM (0, 60, 120 and 180 m³ ha⁻¹ year⁻¹) in addition to the mineral fertilizer (same amount for all treatments). Each dose of DLM was applied on the soil surface, without incorporation, half in the winter harvest and half in the summer harvest. The dry mass yield of five black oat harvests, and the grain yield of five maize, five soybean and three wheat harvests, and the average for each crop were evaluated. Nine years and five months after the first manure application, soil samples were collected up to 60 cm to evaluate the chemical variables. The DLM application contributed to the increase of the productive potential of maize and black oat. On the other hand, the manure use had no effect on soybean and wheat yield. After nine years and five months of fertilization management, the DLM application improved all evaluated soil chemical variables and even applied to the surface had a deep layer effect. Maize yield, specie that was influenced by DLM application, was more correlated with soil chemical variables, especially with pH (positive) and potential acidity (negative). While with soybean and wheat yield, crops that did not respond to manure application, there was a weaker correlation with analyzed soil variables. In soil with sandy clay loam texture the average dose of DLM, additional to the mineral fertilizer, to obtain maximum yield in rotation black oat-maize-soybean is 150 m³ ha⁻¹ year⁻¹, and the effect of DLM application is attributed to the improvement in soil acidity variables.

Keywords: Fertilization management. Organic fertilization. Animal waste. Annual crops. Soil nutrients.

3.3 INTRODUÇÃO

A atividade leiteira é considerada uma das mais importantes do complexo agroindustrial do Brasil, colocando o país como quinto maior produtor mundial de leite. O estado do Paraná, localizado no Sul do Brasil, é o segundo maior produtor nacional de leite (14,1% da produção), sendo que o efetivo de vacas ordenhadas aumentou 19% entre os anos de 2005 a 2015 (IBGE, 2005; IBGE, 2015; IBGE 2016), o que resultou no incremento do volume de dejetos produzidos (WITHERS et al., 2018). O dejetos gerado possui como principal destino a aplicação em lavouras, sendo que os benefícios do uso destes na agricultura são bem conhecidos (KAPKIYAI et al., 1999; HAO; CHANG, 2003; ABEDI; ALEMZADEH; KAZEMEINI, 2010; BHATTACHARYYA et al., 2010; MELLEK et al., 2010; CHIVENGE; VANLAUWE; SIX, 2011; SARTOR et al., 2012; KÖRSCHENS et al., 2013; BARCELLOS et al., 2015; BRAR et al., 2015; LI; HAN, 2016; BAGHDADI et al., 2018; MAMIA et al., 2018; TLUSTOŠ et al., 2018).

A aplicação de dejetos em áreas agrícolas além de fornecer quantidade adicional de nutrientes, melhora a população microbiana, a qual é essencial na transformação e disponibilidade destes (TLUSTOŠ et al., 2018). Além disso, a maioria dos nutrientes contidos nos dejetos são liberados lentamente e armazenados por mais tempo no solo, garantindo um longo efeito residual (DEMELASH et al., 2014; ALADE et al., 2019). Dessa forma, experimentos de campo com uso de dejetos por longo prazo fornecem informações muito relevantes, uma vez que muitos efeitos somente são verificados após alguns anos de aplicação (GHOSH et al., 2016), e, com isso, possibilitam melhorar a eficiência na utilização, otimizando a adubação com estas fontes (KULHÁNEK et al., 2014).

Körschens (2006) revisou cerca de 600 experimentos de longo prazo em todo o mundo, considerando grande diversidade de solos, fertilizantes, culturas e clima e, verificou que cada experimento era único e específico para um ambiente. Nas condições brasileiras, na maioria dos trabalhos utilizando dejetos, tanto de bovinos como de suínos, é analisado sua aplicação de forma isolada. Assim, existe carência de estudos de longo prazo que avaliem o uso de dejetos, em adição a adubação mineral (PAULETTI et al., 2008; BISON PINTO et al., 2014), prática muito comum entre os agricultores.

Baseado nisso, o objetivo do trabalho foi indicar a dose de dejetos líquido bovino (DLB) aplicado em longo prazo, adicional a adubação mineral, para maior produtividade das culturas em rotação aveia preta-milho-trigo-soja, e identificar as variáveis químicas do solo modificadas pelo dejetos que mais afetam a produtividade de grãos, em solo com textura franco-argiloarenosa.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E CONDUÇÃO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na estação experimental da Fundação ABC, localizada em Ponta Grossa-PR. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (EMBRAPA, 2018), textura franco-argiloarenosa, com 13% de declividade. O clima da região é classificado como Cfb (Köppen), clima temperado, com precipitação média anual de 1.554 mm, sem estação seca definida e a temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C (ALVARES et al., 2014).

A instalação do experimento foi realizada em novembro de 2005 em área conduzida sob sistema de plantio direto há mais de 15 anos com culturas anuais. Os tratamentos consistiram em quatro doses de dejetos líquido bovino (DLB) (0, 60, 120, 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), alocados em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. As parcelas apresentavam 29,8 m² (8,5 m de comprimento por 3,5 m de largura). Cada dose de DLB foi aplicada sobre a superfície do solo de forma manual, sem incorporação (FIGURA 1), e dividida em duas aplicações: metade na implantação da safra de inverno e metade na da safra de verão. As características do solo anterior à instalação do experimento estão apresentadas na TABELA 6.

As características químicas do DLB aplicado desde o início do experimento constam na TABELA 7, enquanto as quantidades aplicadas de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na TABELA 8. Além do DLB, foi realizada adubação mineral (NPK) em todos os tratamentos, de acordo com a recomendação às culturas (SBCS, 2004). A quantidade de N, P e K aplicada nas diferentes safras via adubo mineral está apresentada na TABELA 9, sendo utilizado formulações de NPK no sulco de semeadura e adubos simples (ureia e KCl) em cobertura. Durante o experimento não foi realizada calagem na área.

FIGURA 1 – APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO NA ÁREA.



FONTE: Fundação ABC (2014).

TABELA 6 – VARIÁVEIS QUÍMICAS E TEORES DE ARGILA, SILTE E AREIA DO SOLO ANTERIOR À INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO, NAS PROFUNDIDADES (PROF.) 0-10 E 10-20 CM (PONTA GROSSA-PR).

Prof. (cm)	pH CaCl ₂	CO ⁽¹⁾ g kg ⁻¹	H+Al	Ca	Mg	K	CTC ⁽²⁾	Al	P ⁽³⁾ mg dm ⁻³	Argila	Areia	Silte
						cmol _c kg ⁻¹				g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
0-10	5,2	12,4	4,0	3,7	0,6	0,21	9,1	0,0	23,6	231,0	720,0	49,0
10-20	4,9	10,0	3,4	3,4	0,5	0,13	7,4	0,0	14,7	225,0	758,0	17,0

⁽¹⁾CO: carbono orgânico; ⁽²⁾ CTC: capacidade de troca de cátions; ⁽³⁾ Extraído por Mehlich-1.

FONTE: Adaptado de Borgo (2011) e Abboud (2016).

O experimento foi conduzido em sistema de plantio direto durante 19 safras, entre 2005/06 e 2014/15, com rotação de culturas envolvendo aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e trigo (*Triticum aestivum* L.) no inverno e soja (*Glycine max* (L.) Merr.) e milho (*Zea mays* L.) no verão. O espaçamento entre linhas utilizado foi de 80 cm para a cultura do milho, 40 cm para a soja e 17 cm para as culturas de inverno (trigo e aveia preta), respectivamente.

3.4.2 PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

A produtividade de grãos (milho, soja e trigo) foi determinada na área útil da parcela, colhendo 14 linhas por 2 m nas culturas de inverno e 8 linhas por 2 m nas culturas de verão. A massa dos grãos foi corrigida para 13% de umidade e os valores foram convertidos em kg ha⁻¹. A produtividade de matéria seca da aveia preta foi obtida pela coleta das plantas, cortadas a aproximadamente 1 cm da superfície do solo, em 1 m² na fase de maior crescimento vegetativo da cultura, e posterior secagem.

Foram avaliadas cinco safras de aveia preta, cinco de milho, cinco de soja e três de trigo (safra de 2011 foi perdida). Além disso, foi calculada a média de todas as safras para cada cultura.

TABELA 7 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO DEJETO LÍQUIDO BOVINO APLICADO DESDE A INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.

Data da aplicação	Matéria seca	N total		P total		K total	
	g L ⁻¹	g L ⁻¹	g kg ⁻¹	g L ⁻¹	g kg ⁻¹	g L ⁻¹	g kg ⁻¹
07/12/2005	16,0	0,4	23,7	0,2	13,6	0,8	52,4
24/04/2006	86,4	2,2	25,5	0,8	9,7	1,7	19,2
22/09/2006	68,4	0,7	9,9	0,7	10,1	1,8	27,1
15/06/2007	110,2	2,3	20,9	0,6	5,7	1,9	16,9
27/11/2007	72,0	1,6	21,8	0,6	8,3	2,4	32,9
26/06/2008	108,2	2,1	19,8	0,7	6,4	2,1	19,7
17/08/2008	97,3	2,1	21,4	0,6	6,2	1,8	18,4
30/07/2009	73,4	1,7	23,3	0,8	10,4	1,9	26,1
09/12/2009	158,2	2,4	15,3	0,6	4,1	3,8	23,9
21/05/2010	71,4	1,7	23,5	0,8	11,0	2,3	32,0
17/11/2010	129,4	2,8	21,3	1,2	9,4	3,1	24,3
11/08/2011	15,9	1,4	88,0	0,1	8,2	1,1	67,9
04/01/2012	43,4	1,2	27,3	0,5	12,5	0,7	17,2
16/07/2012	48,6	1,9	39,1	0,5	10,8	0,7	15,4
07/01/2013	25,9	1,1	21,0	0,4	6,7	0,04	0,8
25/07/2013	31,8	2,8	88,0	0,3	9,3	0,4	12,0
03/01/2014	58,6	1,1	18,8	0,4	6,7	4,1	70,8
04/11/2014	69,8	2,9	41,5	1,3	18,1	2,0	28,5
Média	73,0	1,8	30,6	0,6	9,3	1,8	28,1
Paraná ⁽¹⁾	69,0	1,6	22,6	0,5	8,0	2,8	40,6

⁽¹⁾ Média no dejetto líquido bovino coletado no estado do Paraná (NEPAR, 2019).

FONTE: Adaptado de Abboud et al. (2018) e NEPAR (2019).

3.4.3 ANÁLISE DE SOLO

Em abril de 2015, nove anos e cinco meses após a primeira aplicação do dejetto, amostras de solo foram coletadas em seis profundidades (0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 e; 50-60 cm) na entrelinha da cultura anterior, com o auxílio de trado

calador. Cada amostra foi composta por dez subamostras. Todas as amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas utilizando peneira de malha de 2 mm.

Foram avaliados: pH do solo, em uma suspensão de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (1: 2,5 v/v solo/solução); acidez potencial (H + Al), estimada após a leitura do pH com a adição da solução tampão SMP às amostras do solo, usando correlação com o índice SMP (RAIJ et al., 1997); carbono orgânico, obtido pela divisão do teor de matéria orgânica (método colorimétrico) por 1,724; teor de fósforo do solo, extraído com resina de troca aniônica; teores de cálcio, magnésio e potássio, extraídos com resina de troca catiônica (RAIJ; QUAGGIO, 1983). E, com base nesses resultados, calculou-se a saturação por bases e capacidade de troca de cátions.

TABELA 8 – QUANTIDADE DE NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K) APLICADO NAS DIFERENTES SAFRAS VIA DEJETO LÍQUIDO BOVINO DESDE A IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO.

Safrá	$60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$			$120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$			$180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	kg ha^{-1}								
Verão 2005/06	11,4	6,6	25,2	22,8	13,2	50,3	34,2	19,7	75,5
Inverno 2006	66,0	25,3	49,8	132	50,6	99,6	198,0	75,9	149,4
Verão 2006/07	20,4	20,7	55,5	40,8	41,4	111,1	61,2	62,1	166,6
Inverno 2007	69,0	18,9	56,0	138,0	37,7	112,1	207,0	56,6	168,1
Verão 2007/08	47,1	17,9	71,0	94,2	35,8	142,0	141,3	53,8	213,0
Inverno 2008	64,3	20,8	63,9	128,5	41,7	127,7	192,8	62,5	191,6
Verão 2008/09	62,5	18,1	53,8	124,9	36,2	107,6	187,4	53,4	161,4
Inverno 2009	51,3	22,9	57,4	102,6	45,8	114,8	153,9	68,7	172,2
Verão 2009/10	72,6	19,5	113,5	145,2	39,0	226,9	217,8	58,4	340,4
Inverno 2010	50,3	23,7	68,5	100,7	47,3	136,9	151,0	71,0	205,4
Verão 2010/11	82,7	36,6	94,4	165,4	73,2	188,8	248,1	109,8	283,2
Inverno 2011	42,0	3,9	32,4	84,0	7,9	64,7	126,0	11,8	97,1
Verão 2011/12	35,5	16,3	22,4	71,1	32,6	44,7	106,6	49,0	67,1
Inverno 2012	57,0	15,7	22,4	114,0	31,4	44,8	171,0	47,2	67,2
Verão 2012/13	34,6	11,0	1,3	69,2	22,0	2,5	103,8	33,0	3,8
Inverno 2013	84,0	8,9	11,5	168,0	17,7	23,0	252,0	26,6	34,5
Verão 2013/14	33,0	11,8	124,5	66,0	23,6	249,0	99,0	35,4	373,5
Inverno 2014	87,0	2,6	19,9	174,0	5,2	39,8	261,0	7,9	59,8
Verão 2014/15	87,0	38,0	59,8	174,0	76,0	119,5	261,0	114,0	179,3
Total	1.057,7	339,1	1.003,0	2.115,4	678,3	2.006,0	3.173,1	1.017,4	3.009,0
Média ⁽¹⁾	55,7	17,8	52,8	111,3	35,7	105,6	167,0	53,5	158,4

⁽¹⁾ Quantidade média por aplicação.

FONTE: Abboud (2016).

3.4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (teste de Bartlett) e, quando

necessário foi realizada transformação (Box-Cox e log). Posteriormente, os dados de produtividade de grãos e biomassa em função das doses de DLB foram submetidos à análise de regressão, adotando-se como critério para escolha do modelo a magnitude do R^2 e a significância dos coeficientes de regressão ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. Com os dados das variáveis químicas do solo foi realizada análise regressão e análise de variância (ANOVA) e, quando constatado efeito significativo ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Além disso, foi realizada análise de componentes principais (ACP) com os dados de produtividade média de grãos (milho, soja, trigo e total) e variáveis químicas do solo na profundidade de 0-10 cm. A ACP foi efetuada a partir da matriz de correlação dos dados padronizados para média zero e variância um. As análises foram realizadas com auxílio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011) e do Sigma Plot versão 11 (SYSTAT SOFTWARE, 2010).

TABELA 9 – QUANTIDADE DE NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P) E POTÁSSIO (K) APLICADO NAS DIFERENTES SAFRAS VIA ADUBAÇÃO MINERAL DESDE O INÍCIO DO EXPERIMENTO.

Cultura	Safr	Cultivar	Data de semeadura	kg ha ⁻¹		
				N	P	K
Soja	2005/06	CD 206	09/11/2005	0,0	27,0	52,0
Aveia preta	2006	Iapar 61	26/04/2006	0,0	0,0	0,0
Milho	2006/07	Ag 8021	21/09/2006	183,0	56,0	100,0
Trigo	2007	CD 111	12/06/2007	98,0	26,0	50,0
Soja	2007/08	CD 206	31/10/2007	0,0	26,0	50,0
Aveia preta	2008	Comum	25/04/2008	0,0	0,0	0,0
Milho	2008/09	P30R50	17/09/2008	171,0	42,0	75,0
Trigo	2009	BRS 208	08/06/2009	120,0	26,0	50,0
Soja	2009/10	BRS 232	03/11/2009	0,0	26,0	50,0
Aveia preta	2010	Comum	21/04/2009	0,0	0,0	0,0
Milho	2010/11	P 30F36H	28/10/2010	171,0	42,0	75,0
Trigo	2011	Mirante	01/06/2011	104,0	26,0	50,0
Soja	2011/12	BMX Potência	22/11/2011	0,0	26,0	50,0
Aveia preta	2012	Comum	01/05/2012	0,0	0,0	0,0
Milho	2012/13	P30R50HNR	27/09/2012	183,0	41,0	75,0
Trigo	2013	Quartzo	05/06/2013	120,0	26,0	50,0
Soja	2013/14	NA 5909 RG	26/11/2013	0,0	26,0	50,0
Aveia preta	2014	Agro Coxilha	20/05/2014	0,0	0,0	0,0
Milho	2014/15	P 30R50 YH	18/09/2014	180,0	42,0	75,0
Total	-	-	-	1.450,0	510,0	952,0
Soja	Média	-	-	0,0	26,0	50,0
Milho	Média	-	-	178,0	45,0	80,0
Trigo	Média	-	-	110,0	26,0	50,0
Aveia preta	Média	-	-	0,0	0,0	0,0

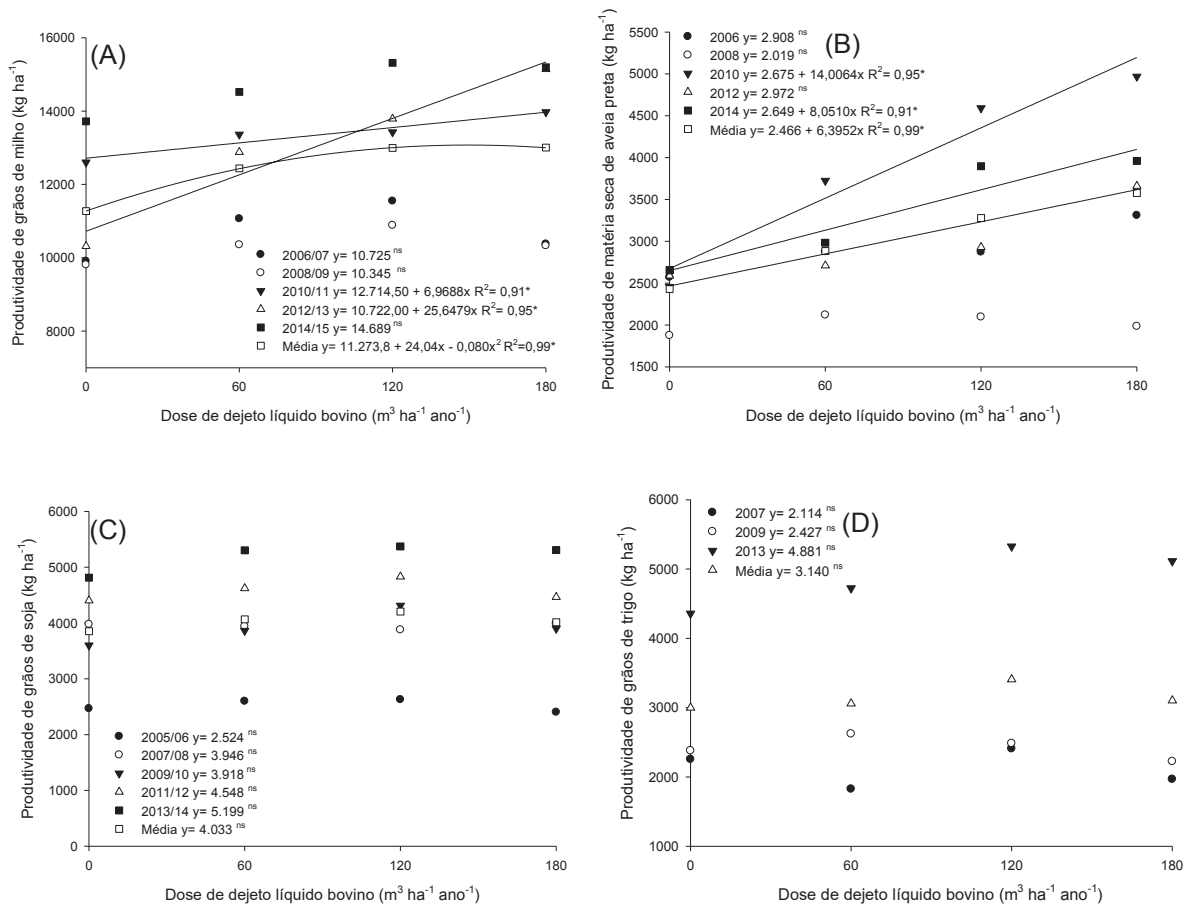
FONTE: Adaptado de Abboud (2016).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

A aplicação de dejetos líquidos bovinos (DLB), adicional a adubação mineral, aumentou a produtividade de grãos de milho e a matéria seca da aveia preta (GRÁFICO 4A, GRÁFICO 4B), com variação de resposta entre as safras, provavelmente devido à variação nas características do dejetos aplicado (TABELA 7), bem como das condições de clima (CERETTA et al., 2003). Este efeito não foi observado na soja e no trigo, pois a aplicação de dejetos não resultou em incremento da produtividade de grãos destas espécies (GRÁFICO 4C, GRÁFICO 4D).

GRÁFICO 4 – PRODUTIVIDADE POR SAFRA E MÉDIA DAS SAFRAS DE MILHO (A), AVEIA PRETA (B), SOJA (C) E TRIGO (D) EM FUNÇÃO DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETOS LÍQUIDOS BOVINOS, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM PONTA GROSSA-PR.



*: significativo a 5%; ns: não significativo a 5%.

FONTE: O autor (2019).

O uso de DLB aumentou de forma linear a produtividade de grãos do milho nas safras 2010/11 e 2012/13 e de forma quadrática na média das safras (GRÁFICO 4A). Nestas safras, a dose de $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ resultou em 10% e 47% maior produtividade, respectivamente, comparado ao tratamento controle. Na média das safras, a dose estimada de máxima produtividade foi de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com incremento de 16% em comparação a não aplicação de dejetos. Salienta-se que em todos os tratamentos e em todas as safras a produtividade obtida foi superior à média do estado do Paraná (CONAB, 2019). Assim, esses dados sugerem que o potencial produtivo dessa espécie para a região é alto e o uso de dejetos, adicional a adubação mineral, pode contribuir para que este potencial seja expressado. No milho, o benefício da adubação orgânica em adição a adubação mineral também foi observado por Brar et al. (2015) e Martínez et al. (2016), e provavelmente está relacionado ao fornecimento adicional de N pela fonte orgânica.

Na aveia preta, a aplicação de DLB aumentou a produtividade de matéria seca de forma linear nas safras 2010, 2014 e na média das safras, com incremento de 102%, 49% e 47%, respectivamente, comparado ao tratamento controle (GRÁFICO 4B). A maior resposta da aveia preta ao uso de dejetos possivelmente está relacionada a não aplicação de adubo mineral, especificamente o nitrogenado, que é o nutriente que tem maior efeito no crescimento e que, frequentemente, mais limita a produção desta espécie (SANTI; AMADO; ACOSTA, 2003). A aveia preta apresenta alta demanda de N, na ordem de 101 a 125 kg ha^{-1} quando a produtividade almejada é alta ($> 10.000 \text{ kg ha}^{-1}$) (NEPAR, 2019). Santi, Amado e Acosta (2003) avaliaram doses de até 240 kg ha^{-1} de N e verificaram resposta crescente, com ponto de máxima eficiência técnica de 180 kg ha^{-1} .

A produtividade de grãos da soja não foi afetada pela aplicação de DLB (GRÁFICO 4C). Em todas as safras, a produtividade obtida sem o uso de dejetos foi superior à média do estado do Paraná (2.422 a 3.139 kg ha^{-1}) (CONAB, 2019), variando de 2.467 a 4.813 kg ha^{-1} . Logo, a adubação mineral e os nutrientes presentes no solo foram suficientes para suprir a necessidade nutricional dessa cultura.

Da mesma forma, Pauletti et al. (2008) não constataram efeito da aplicação de esterco líquido de gado de leite (até $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) combinado com frações da adubação mineral (0%, 50% e 100%) na cultura da soja. Os autores atribuíram esse

desempenho à alta fertilidade inicial do solo e a capacidade da soja suprir o N via fixação biológica (FBN). Resultados positivos com a aplicação combinada de NPK e adubo orgânico na soja foram observados por Choudhary et al. (2018) e Mamia et al. (2018).

Em relação ao trigo, nas três safras avaliadas a produtividade de grãos não foi influenciada pela aplicação de dejetos, o mesmo ocorrendo com a média das safras (GRÁFICO 4D). Na safra 2009, a não aplicação de DLB resultou em produtividade inferior à média do estado do Paraná (2.541 kg ha^{-1}) (CONAB, 2019), mas mesmo assim a aplicação de dejetos não aumentou a mesma. Isso sugere que a adubação mineral e os nutrientes presentes no solo foram suficientes para suprir a demanda nutricional da cultura e resultar no potencial máximo de produção para a condição climática e de manejo adotada. Efeito positivo da combinação de adubação orgânica e mineral no trigo foram constatados por Bhatt et al. (2016) e Choudhary et al. (2018).

Maltas et al. (2018) em experimento de 37 anos (1976-2013) verificaram que a aplicação de esterco bovino, associado ao adubo mineral, aumentou a produtividade de grãos de trigo, cevada, aveia, milho e canola, comparado aos tratamentos com aplicação isolada de fonte mineral. Os autores atribuíram parte desse efeito ao fornecimento adicional de N pelo esterco, pois a contribuição deste diminuiu com o aumento da adubação mineral nitrogenada. Além disso, verificaram maior efeito do esterco com o passar do tempo, indicando a influência positiva do aumento do teor da matéria orgânica do solo.

O aumento na produção de biomassa das plantas com aplicação do dejetos pode ser uma das causas do aumento da produtividade de grãos do milho (GRÁFICO 4A), conforme observado por Veloso et al. (2009). Por outro lado, o efeito do dejetos não foi observado na produtividade do trigo (GRÁFICO 4D) pelo fato da folha bandeira ser responsável pela maior parte do suprimento de fotoassimilados para os grãos e, conseqüentemente pelo aumento na produção (SOUZA et al., 2013).

A aplicação de dejetos aumentou a produtividade de milho e aveia preta após aproximadamente cinco anos da primeira aplicação (GRÁFICO 4A, GRÁFICO 4B), desempenho também constatado por Ghosh et al. (2016) na cultura do milho. Esse comportamento está relacionado ao fornecimento de nutrientes de forma imediata com a adubação mineral, enquanto os nutrientes presentes no adubo orgânico

necessitam de um tempo para estar em forma disponível às plantas (GHOSH; SINGH; DADAHWAL, 2006). Com a combinação destes adubos, há disponibilidade de nutrientes por mais tempo, aliado ao efeito residual do esterco (GHOSH et al., 2016; SINGH et al., 2017). Além disso, a aplicação de dejetos melhora a população microbiana do solo, a qual é essencial na transformação e disponibilidade de nutrientes, associado à melhoria nas condições físicas, proporcionando melhor ambiente para o crescimento e absorção de nutrientes pelas plantas (NANNIPIERE; CECCANTI; GREGO, 1990; TEJADA; HERNANDES; GARCIA, 2009; HAFIDI et al., 2012; ABEDI; ALEMZADEH; KAZEMEINI, 2010; BHATT et al., 2016).

3.5.2 FERTILIDADE DO SOLO

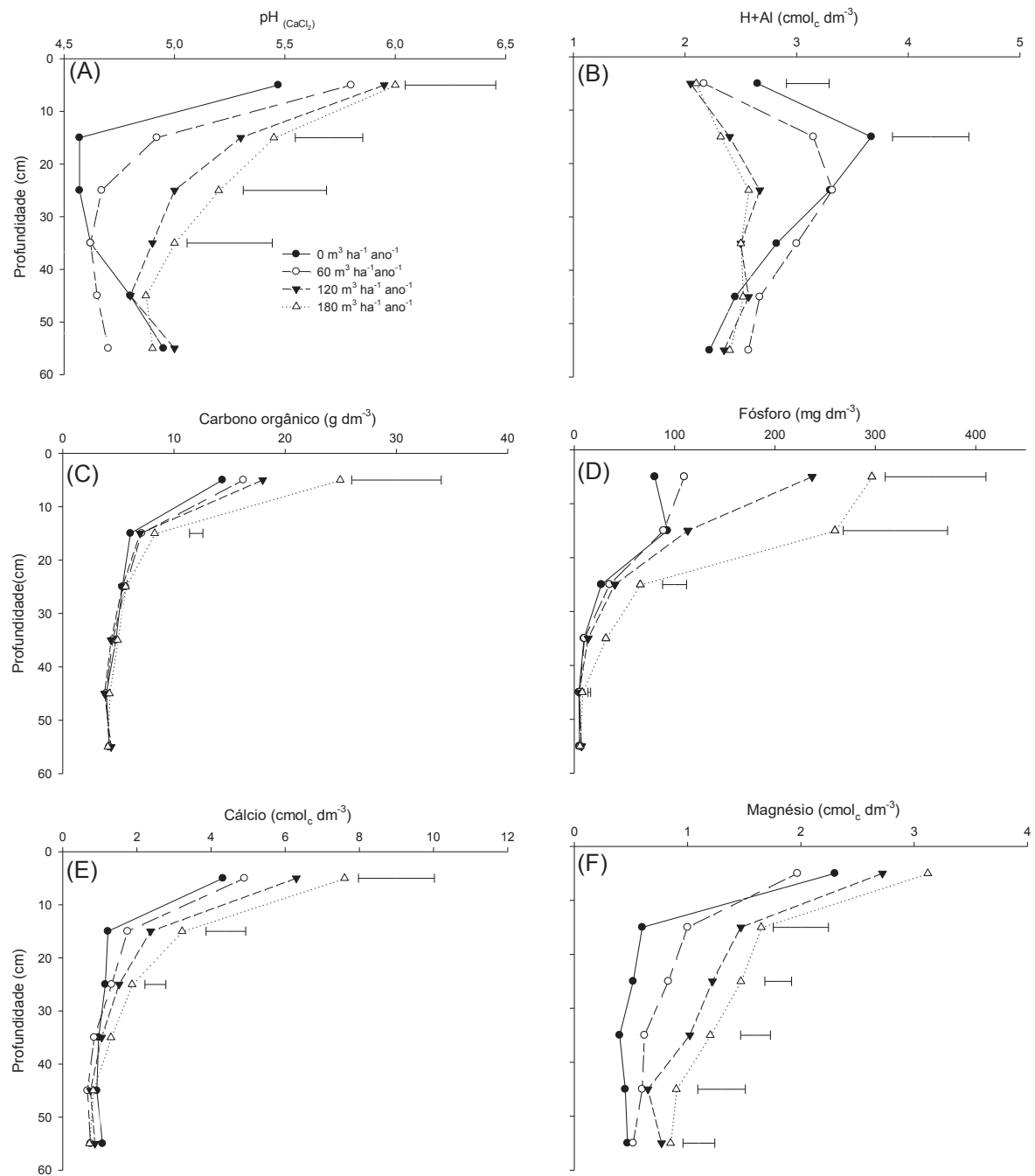
Após nove anos e cinco meses de manejo da adubação, o uso de DLB melhorou todas as variáveis químicas do solo e, mesmo aplicado na superfície, teve efeito em camadas profundas (GRÁFICO 5). A aplicação de dejetos reduziu a acidez potencial e aumentou o teor de carbono orgânico (CO) até 20 cm, e os teores de fósforo (P) e cálcio (Ca) até 30 cm. Efeito em camadas mais profundas foi verificado, com aumento do pH (40 cm), saturação por bases (40 cm), capacidade de troca de cátions (50 cm), e teores de magnésio (60 cm) e potássio (60 cm).

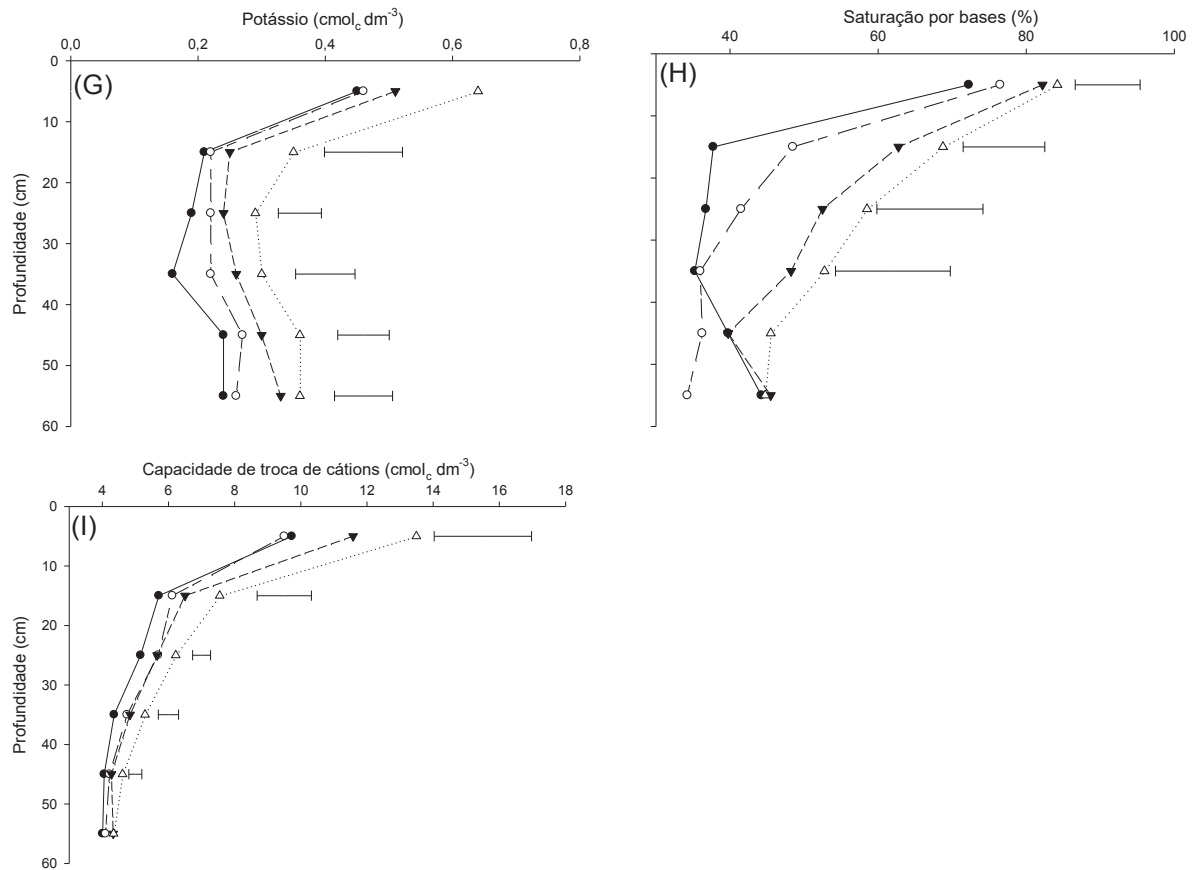
A aplicação de DLB aumentou o pH e reduziu a acidez potencial (H + Al) até 40 cm e 20 cm, respectivamente, evidenciando o efeito alcalinizante deste (GRÁFICO 5A, GRÁFICO 5B), devido à presença de carbonatos e bicarbonatos, que são adicionados na alimentação animal e excretados no esterco, e adição de cal hidratada nas camas dos animais em confinamento. Além disso, outros compostos, tais como ácidos orgânicos, dos grupos carboxil e hidroxil fenólicos, também possuem importante papel no tamponamento da acidez e no aumento do pH do solo (WHALEN, 2000). Ainda, pode ser atribuído à redução do Al trocável e, adição de cátions trocáveis (K, Ca e Mg) com a aplicação de dejetos, pois estes aumentam a alcalinidade do solo (MUCHERU-MUNA et al., 2005).

Sadeghpour et al. (2016), com menor tempo de aplicação de esterco (cinco anos) verificaram aumento do pH na camada 0-20 cm. Borgo (2011) na mesma área, três anos e cinco meses após a primeira aplicação do DLB, observou aumento do pH até 20 cm e diminuição da acidez potencial (H + Al) somente na camada de 0-10 cm. Assim, fica evidente o efeito do dejetos no perfil do solo com o passar do tempo.

Borgo (2011) ressaltou que a textura franco-argiloarenosa do solo confere maior capacidade de infiltração do dejetos, o que resulta em efeito até camadas mais profundas.

GRÁFICO 5 - pH EM CaCl_2 (A), ACIDEZ POTENCIAL (H + Al) (B), TEOR DE CARBONO ORGÂNICO (C), FÓSFORO (RESINA) (D), CÁLCIO (E), MAGNÉSIO (F), POTÁSSIO (G), SATURAÇÃO POR BASES (H), CAPACIDADE DE TROCA DE CÂTIONS (I) EM SEIS PROFUNDIDADES DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, APÓS NOVE ANOS E CINCO MESES DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO.





Primeira aplicação dos tratamentos em dezembro de 2005 e amostragem do solo em abril de 2015 (Tukey DMS, $p < 0,05$).

FONTE: O autor (2019).

Para cada m^3 de dejetos aplicados anualmente, verificou-se aumento médio de 0,0064 e 0,0050 unidade na escala de pH após nove anos e cinco meses de aplicações, para as camadas 0-10 e 10-20 cm, respectivamente (TABELA 10). Lourenzi et al. (2011), após oito anos e quatro meses de aplicação de doses de dejetos líquidos suínos (até $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), em solo com textura franco-arenosa, observaram para cada m^3 de dejetos aplicados aumento linear médio de 0,004 unidades na escala de pH.

A redução na acidez potencial com a aplicação de dejetos provavelmente foi decorrente da formação de espécies de Al insolúveis (pH aumentou), além do incremento das bases trocáveis, as quais competem pelos sítios de troca, reduzindo o conteúdo de $\text{H}^+ + \text{Al}$ (RAIJ et al., 1997). Por outro lado, Lourenzi et al. (2011), em solo com textura franco-arenosa, mesmo após mais de oito anos de aplicação de dejetos líquidos suínos (19 aplicações), não verificaram alterações na acidez potencial do solo. No entanto, no trabalho conduzido por estes autores não foi realizada

adubação mineral e as doses de dejetos líquido suíno foram menores (até 80 m³ ha⁻¹).

TABELA 10 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA pH EM CaCl₂, FÓSFORO (P), CÁLCIO (Ca), MAGNÉSIO (Mg), POTÁSSIO (K) E SATURAÇÃO POR BASES (V%) APÓS NOVE ANOS E CINCO MESES DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico.

Variável	Equações de regressão			
	0-10 cm	R ²	10-20 cm	R ²
pH	$y = 5,4740 + 0,0064x - 1,9444x^2$	0,99*	$y = 4,6070 + 0,0050x$	0,97*
P	$y = 64,4200 + 1,2937x$	0,95*	ns	
Ca	$y = 4,0940 + 0,0187x$	0,97*	$y = 1,1470 + 0,0110x$	0,99*
Mg	ns		$y = 0,6370 + 0,0060x$	0,97*
K	ns		ns	
V (%)	$y = 72,5550 + 0,0692x$	0,97*	$y = 38,3500 + 0,1788x$	0,98*
Variável	20-30 cm	R ²	30-40 cm	R ²
pH	ns		ns	
P	ns		ns	
Ca	$y = 1,1110 + 0,0039x$	0,97*	ns	
Mg	$y = 0,5240 + 0,0054x$	0,99*	$y = 0,3900 + 0,0047x$	0,98*
K	$y = 0,1870 + 0,0005x$	0,97*	$y = 0,1660 + 0,0008x$	0,99*
V (%)	$y = 38,8750 + 0,1271x$	0,98*	$y = 34,2875 + 0,0610x + 0,0003x^2$	0,92*
Variável	40-50 cm	R ²	50-60 cm	R ²
pH	ns		ns	
P	ns		ns	
Ca	ns		ns	
Mg	$y = 0,4400 + 0,0023x$	0,93*	$y = 0,4440 + 0,0023x$	0,93*
K	$y = 0,2340 + 0,0007x$	0,96*	$y = 0,2330 + 0,0007x$	0,95*
V (%)	ns		ns	

*: significativo a 5%; ns: não significativo a 5%. Primeira aplicação dos tratamentos em maio de 2006 e coleta do solo em julho de 2015.

FONTE: O autor (2019).

Após nove anos e cinco meses da primeira aplicação do dejetos, o teor de carbono orgânico (CO) aumentou até 20 cm (GRÁFICO 5C). Em geral, a aplicação de 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de dejetos resultou em maior teor desta variável em ambas as profundidades, com incremento de 74% e 36%, na camada 0-10 e 10-20 cm, em comparação ao tratamento controle, respectivamente. O maior efeito na camada superficial foi decorrente da aplicação do dejetos ser na superfície, sem incorporação, bem como da maior adição de raízes e biomassa vegetal com uso de dejetos, sobretudo de milho e aveia preta (GHOSH et al., 2012; BHATTACHARYYA et al., 2013).

Ghosh et al. (2016), após menor tempo de aplicação de fontes orgânicas (seis anos), em solo com textura franco-arenosa, verificaram incremento no teor de CO até 15 cm. Bhattacharyya et al. (2011), em solo com textura franco-arenosa,

após 32 anos de aplicação combinada de adubo orgânico (10 Mg ha^{-1}) e mineral observaram maior teor de CO até 45 cm. Borgo (2011) na mesma área, após três anos e cinco meses da primeira aplicação de DLB, constatou aumento no CO apenas na camada superficial. Logo, fica evidente que o tempo influencia no efeito do dejetos sobre o CO em profundidade.

Maiores teores de fósforo (P) foram observados com a aplicação de DLB até 30 cm (GRÁFICO 5D), com incremento linear na camada superficial (0-10 cm) (TABELA 10). Aumento do teor de P com uso esterco são amplamente citados na literatura (CERETTA et al., 2003; SINGH et al., 2007; SCHERER; NESI; MASSOTI, 2010; SILVA et al., 2010; CASSOL et al., 2012; DEMELASH et al., 2014; MATSI; LITHOURGIDIS; BARBAYIANNIS, 2014; BARCELLOS et al., 2015; Da ROS et al., 2017; CHOUDHARY et al., 2018; O'BRIEN; HATFIELD, 2019). Salienta-se que a limitação na disponibilidade de rocha fosfática no futuro é muito discutida (ROY, 2017), logo, o suprimento de P por adubos orgânicos representa uma alternativa importante (TLUSTOŠ et al., 2018).

A distribuição de P no perfil do solo é variável com a dose, frequência de aplicação e tipo de solo (SCHERER; NESI; MASSOTI, 2010; Da ROS et al., 2017). Cassol et al. (2012) e Barcellos et al. (2015) verificaram aumento no teor de P somente até 5 cm em solos com textura argilosa, após dez e seis anos de aplicação de dejetos líquido suíno (até $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e esterco líquido de bovinos de leite ($90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), respectivamente. Choudhary et al. (2018), em solo com textura argilosiltosa observaram maior teor de P até 30 cm após 21 anos de aplicação de adubo orgânico combinado ao mineral. Já em solo mais arenoso, Ceretta et al. (2003) constataram incremento no teor de P até 40 cm após quatro anos de aplicações de dejetos líquido suíno.

Borgo (2011), na mesma área, três anos e cinco meses após a primeira aplicação de DLB, verificou aumento no teor de P apenas na camada superficial (0-10 cm). Já no presente trabalho, após nove anos e cinco meses da primeira aplicação, foi constatado aumento até 30 cm, mesmo com aplicação do DLB em superfície e sem incorporação. O incremento no teor de P nas camadas 10-20 e 20-30 cm somente foi verificado com a aplicação da maior dose de dejetos ($180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (GRÁFICO 5D), efeito também constatado por Cassol et al. (2012) com aplicação de $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos líquido suíno, evidenciando a transferência do

elemento em profundidade quando a dose aplicada é excessiva e repetida anualmente.

O teor de cálcio (Ca) aumentou até 30 cm com a aplicação de DLB, ajustando-se por regressão à função linear (GRÁFICO 5E, TABELA 10), sendo que, a aplicação de $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ resultou em maior incremento neste elemento. O maior teor de Ca observado é decorrente do fornecimento deste nutriente pelo dejetos (teor médio de $1,79 \text{ g L}^{-1}$ de CaO). Aumento no teor de Ca também foi constatado por Silva et al. (2008) e Da Ros et al. (2017), com aplicação de esterco bovino e água residuária de suinocultura, respectivamente.

Cada m^3 de dejetos adicionado anualmente ao solo durante nove anos e cinco meses, resultou em acréscimo no Ca trocável de 0,019, 0,011 e 0,004 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nas camadas 0-10, 10-20 cm e 20-30 cm, respectivamente (TABELA 10). Logo, fica evidente o maior acréscimo do teor deste elemento na superfície (0-10 cm), provavelmente devido à alta energia de ligação dos íons Ca às cargas negativas dos colóides (série liotrópica), bem como devido à aplicação do dejetos ser realizada em superfície e sem incorporação. O alto teor inicial de Ca ($3,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada 0-10 cm) (NEPAR, 2019) contribuiu para o deslocamento vertical do nutriente, bem como a aplicação acumulativa deste elemento via dejetos.

O teor de magnésio (Mg) aumentou de forma linear com a aplicação de DLB de 10 a 60 cm de profundidade (GRÁFICO 5F, TABELA 10). Da mesma forma, esse incremento decorre da adição do nutriente por nove anos e cinco meses consecutivos com a aplicação do DLB (teor médio de $1,31 \text{ g L}^{-1}$ de MgO). De acordo com a série liotrópica, os íons Mg tendem a se deslocar com maior facilidade em profundidade em relação ao Ca, devido à menor energia de ligação aos colóides (SILVA et al., 2008; DA ROS et al., 2017).

Na mesma área, três anos e cinco meses após a primeira aplicação de DLB, Borgo (2011) verificou incremento no teor de Mg até 20 cm. Logo, este efeito em profundidade é aumentado com o passar do tempo, mesmo que a aplicação do dejetos seja em superfície. Lourenzi et al. (2016), observaram incremento no teor de Mg até 40 cm, seis anos após aplicação de composto orgânico de dejetos líquido de suínos com maravalha, em solo com textura argilosa.

O teor de potássio (K) aumentou com a aplicação de DLB a partir da camada de 10 cm, e de forma linear (GRÁFICO 5G, TABELA 10), devido ao fornecimento deste nutriente pelo DLB ($2,05 \text{ g L}^{-1}$ de K_2O). Em geral, a aplicação das maiores

doses resultou em maior incremento nesta variável. O maior deslocamento do K em profundidade decorre da carga monovalente e raio iônico hidratado relativamente grande deste íon, tornando-o mais suscetível a substituição nos locais de troca por cátions com maior afinidade (Ca e Mg) (ABDALA et al., 2012). Choudhary et al. (2018) observaram, em experimento de 21 anos, maior teor de K nas duas profundidades avaliadas (0-15 e 15-30 cm), quando associaram adubo orgânico e mineral (NPK), em solo com textura argilosiltosa. Em solos com textura argilosa, Silva et al. (2010) e Barcellos et al. (2015) observaram aumento no teor de K até 80 cm, após seis anos de aplicação de esterco líquido bovino.

Em relação à saturação por bases (V%), verificou-se incremento nesta variável até 40 cm, e, em geral, os maiores valores foram observados com a aplicação de 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (GRÁFICO 5H). O aumento foi linear até 30 cm, já na camada 30-40 cm, o incremento foi quadrático (TABELA 10). Esses dados foram condizentes com o aumento dos teores de Ca, Mg e K proporcionado pela aplicação de DLB, além da redução na acidez potencial e o aumento no teor de CO, o que contribui para a adsorção de cátions no solo (LOURENZI et al., 2011; BRUNETTO et al., 2012). Outros autores também verificaram aumento na V% com aplicação de dejetos (suíno) até 12 cm (LOURENZI et al., 2011) e até 30 cm (BRUNETTO et al., 2012) após oito anos de aplicação. Pinto et al. (2012) observaram maior V% até 20 cm, três anos após aplicações de cama de peru, em solo com textura argilosa.

Salienta-se que durante o experimento não foi realizada calagem e, na ausência de aplicação de DLB a V% reduziu, evidenciando o efeito de acidificação pela adubação mineral e exportação de bases. Com a aplicação de 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLB o efeito de acidificação foi neutralizado, além de reduzir a necessidade de aplicação de corretivos, devido ao aumento na V% em longo prazo.

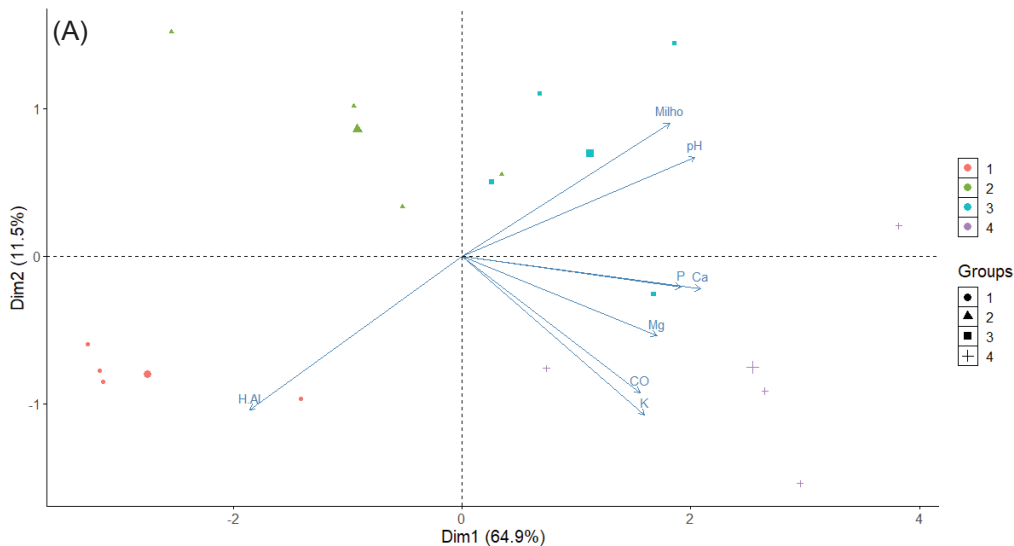
A aplicação de DLB aumentou a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo até 50 cm (GRÁFICO 2I), variando de 14% a 39% (comparando os dados obtidos com aplicação de 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLB e o tratamento controle), sendo mais evidente nas camadas superficiais. Possivelmente, o aumento do teor de CO (GRÁFICO 5C) (RAIJ, 1969; SANTOS et al., 2009) contribuiu para este efeito do DLB, uma vez que foi verificada correlação muito forte ($r = 1,00$) entre os teores de CO e CTC do solo nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm. O aumento na CTC de um solo implica na maior capacidade de retenção de nutrientes (cátions), resultando em

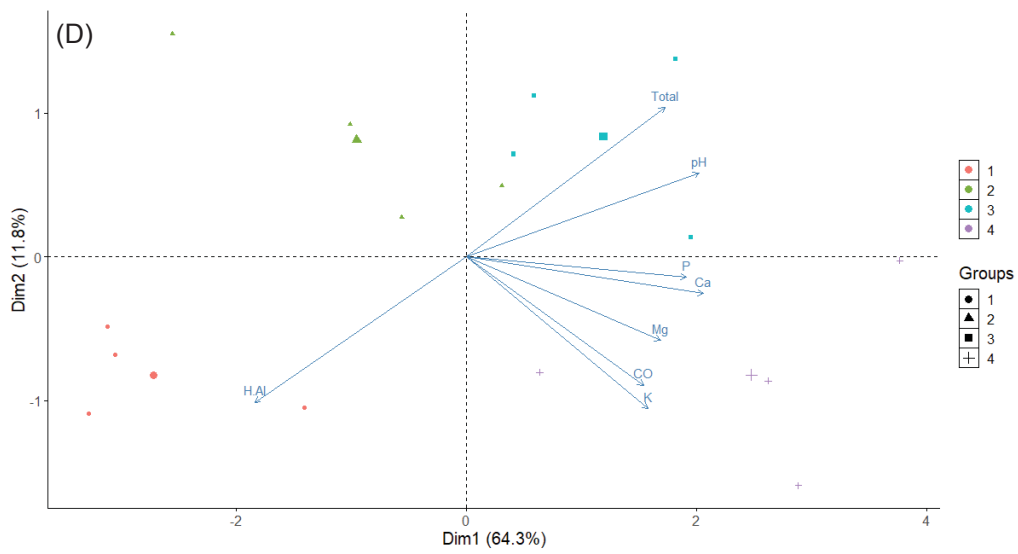
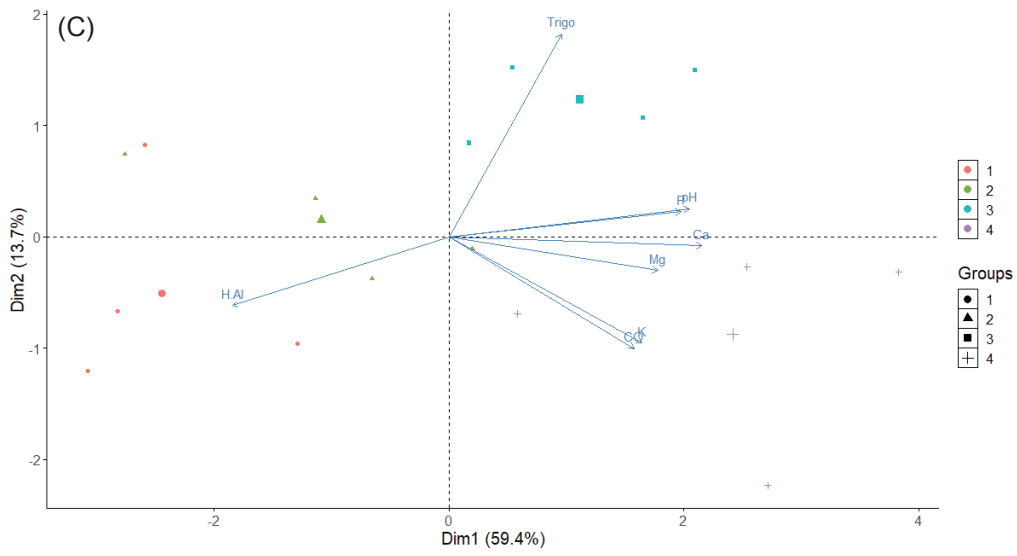
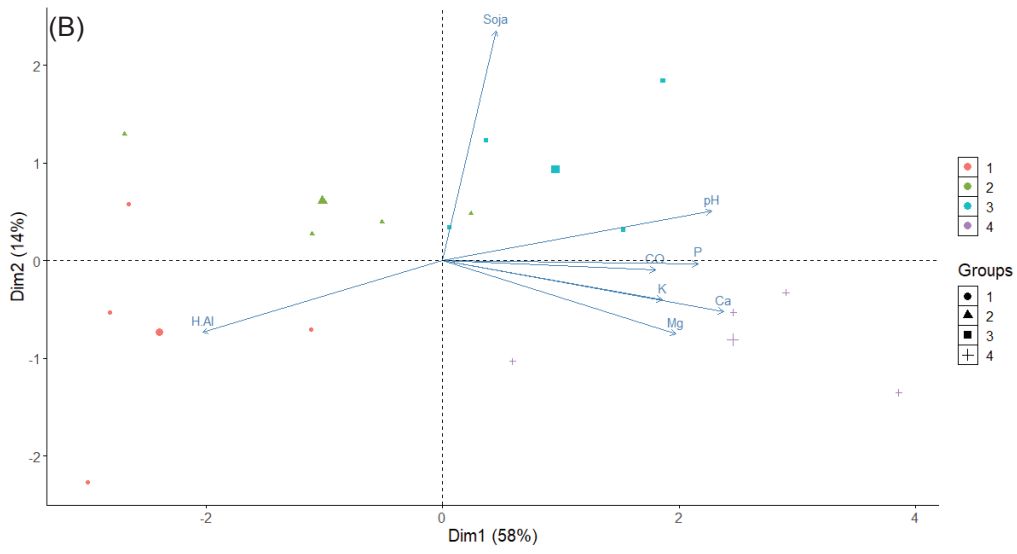
utilização mais eficiente destes pelas plantas, bem como menor perda por lixiviação (DEMELASH et al., 2014).

3.5.3 VARIÁVEIS QUÍMICAS QUE INFLUENCIARAM A PRODUTIVIDADE

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada entre produtividade média de grãos por espécie e total e as variáveis químicas do solo, na camada 0-10 cm, tendo em vista que nesta camada foi observada maior frequência e amplitude de alteração das variáveis químicas do solo em função da aplicação de DLB. Os componentes 1 e 2 representaram aproximadamente 76%, 72%, 73% e 76% da capacidade de explicar a variância dos dados para milho, soja, trigo e total, respectivamente (GRÁFICO 6).

GRÁFICO 6 - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS COM PRODUTIVIDADE MÉDIA DE GRÃOS DE MILHO (A), SOJA (B), TRIGO (C) E TOTAL (MILHO + SOJA + TRIGO) E VARIÁVEIS QUÍMICAS DO SOLO NA PROFUNDIDADE 0-10 CM, APÓS NOVE ANOS E CINCO MESES DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico.





FONTE: O autor (2019).

Em relação à produtividade do milho e a produtividade média total verificou-se correlação altamente positiva destas com o pH do solo e negativa com acidez potencial (GRÁFICO 6A, GRÁFICO 6D). Por outro lado, os dados de produtividade da soja e do trigo, espécies que apresentaram menor resposta à aplicação de dejetos, resultaram em correlação mais fraca com as variáveis químicas do solo (GRÁFICO 6B, GRÁFICO 6C). Assim, a melhoria nos componentes da acidez com aplicação anual de DLB, adicional a adubação mineral, em solo com textura franco-argiloarenosa é responsável pelo aumento da produtividade de culturas em sistema de rotação aveia preta-milho-trigo-soja.

3.6 CONCLUSÕES

Em solo com textura franco-argiloarenosa, para obtenção de máxima produtividade de aveia preta, milho, trigo e soja, cultivadas com adubação mineral e em rotação, a dose média de dejetos líquido bovino (DLB) aplicada em longo prazo deve ser de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

A aplicação de DLB por longo prazo, adicional a adubação mineral, em solo com textura franco-argiloarenosa melhora todas as variáveis químicas do solo e, mesmo aplicado na superfície do solo, tem efeito em profundidade.

A maior produtividade de culturas em rotação aveia preta-milho-trigo-soja, em solo com textura franco-argiloarenosa submetido à aplicação de DLB por longo prazo, em adição a adubação mineral, é atribuída à melhoria nos componentes de acidez do solo.

3.7 REFERÊNCIAS

ABBOUD, F. Y.; FAVARETTO, N.; MOTTA, A. C. V., BARTH, G.; GOULART, G. D. Phosphorus mobility and degree of saturation in Oxisol under no-tillage after long-term dairy liquid manure application. **Soil and Tillage Research**, [S.l.], v. 177, p. 45-53. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.11.014>. Acesso em: 05 nov. 2019.

ABBOUD, F. Y. **Mobilidade de nutrientes no perfil do solo em plantio direto com aplicação de dejetos líquido bovino em longo prazo**. 2016. 64f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

ABDALA, D. B.; GHOSH, A. K.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; VENEGAS, V. H. A. Phosphorus saturation of a tropical soil and related P leaching caused by poultry litter addition. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 162, p. 15-23, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.08.004>. Acesso em: 23 dez. 2019.

ABEDI, T.; ALEMZADEH, A.; KAZEMEINI, A. Effect of organic and inorganic fertilizers on grain yield and protein banding pattern of wheat. **Australian Journal of Crop Science**, [S.l.], v. 4, n. 6, p. 384-389, 2010.

ALADE, A. A.; AZEEZ, J. O.; AJIBOYE, G. A.; ADEWUYI, S.; OLOWOBOKO, T. B.; HUSSEIN, S. M. Influence of animal manure mixture on soil nitrogen indices and maize growth. **Russian agricultural sciences**, [S.l.], v. 45, n.2, p. 175-185, 2019.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.l.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

BAGHDADI, A.; HALIM, R. A.; GHASEMZADEH, A.; RAMLAN, M. F.; SAKIMIN, S. Z. Impact of organic and inorganic fertilizers on the yield and quality of silage corn intercropped with soybean. **Peer Journal**, [S.l.], v. 6, p. 2-26, 2018. Disponível em: [10.7717/peerj.5280](https://doi.org/10.7717/peerj.5280). Acesso em: 06 nov. 2019.

BARCELLOS, M.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V.; SILVA, J. C. P. M.; BARBOSA, J.Z. Atributos químicos de Latossolo sob plantio direto adubado com esterco de bovinos e fertilizantes minerais. **Communicata Scientiae**, [S.l.], v. 6, n. 3, p. 263-273, 2015. Disponível em: [10.14295/CS.v6i3.527](https://doi.org/10.14295/CS.v6i3.527). Acesso em: 05 nov. 2019.

BHATTACHARYYA, R.; KUNDU, S.; SRIVASTVA, A. K.; GUPTA, H. S.; PRAKASH, V.; BHATT, J. C. Long-term fertilization effects on soil organic carbon pools in a sandy loam soil of the Indian sub-Himalayas. **Plant and Soil**, [S.l.], v. 241, p. 109-124, 2011. Disponível em: [10.1007/s11104-010-0627-4](https://doi.org/10.1007/s11104-010-0627-4). Acesso em: 20 nov. 2019.

BHATTACHARYYA, R.; PANDEY, S. C.; BISHT, J. K.; BHATT, J. C.; GUPTA, H. S.; TUTI, M. D.; MAHANTA, D.; MINA, B. L.; SINGH, R. D.; CHANDRA, S.; SRIVASTVA, A. K.; KUNDU, S. Tillage and irrigation effects on soil aggregation and carbon pools in the Indian Sub-Himalayas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, p. 101-112, 2013.

BHATTACHARYYA, R.; PRAKASH, V.; KUNDU, S.; SRIVASTVA, A. K.; GUPTA, H. S.; MITRA, S. Long term effects of fertilization on carbon and nitrogen sequestration and aggregate associated carbon and nitrogen in the Indian sub-Himalayas. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [S.l.], v. 86, p. 1-16, 2010. Disponível em: [10.1007/s10705-009-9270-y](https://doi.org/10.1007/s10705-009-9270-y). Acesso em: 05 nov. 2019.

BHATT, B.; CHANDRA, R.; RAM, S.; PAREEK, N. Long-term effects of fertilization and manuring on productivity and soil biological properties under rice (*Oryza sativa*) – wheat (*Triticum aestivum*) sequence in Mollisols. **Archives of Agronomy and Soil Science**, [S.l.], v. 62, p. 1109-1122, 2016.

BISON PINTO, M. A.; FABRRIS, C.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L.; GIROTTO, E. Aplicação de dejetos líquidos de suínos e manejo do solo na sucessão aveia/milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 11, n. 2, p. 205-212, 2014.

BORGO, J. **Aplicações sucessivas de dejetos líquidos de bovinos em solos sob plantio direto: fertilidade do solo, produtividade e absorção de nutrientes em milho**. 2011. 82f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

BRAR, B. S.; SINGH, J. SINGH, G.; KAUR, G. Effects of long term application of inorganic and organic fertilizers on soil organic carbon and physical properties in maize–wheat rotation. **Agronomy**, [S.l.], v. 5, p. 220-238, 2015. Disponível em: 10.3390/agronomy5020220. Acesso em: 05 nov. 2019.

BRUNETTO, G., COMIN, J. J., SCHMITT, D. E., GUARDINI, R., MEZZARI, C. P., OLIVEIRA, B. S., MORAES, M. P., GATIBONI, L. C., LOVATO, P. E.; CERETTA, C. A. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy typic Hapludalf after medium-term pig-slurry and deep-litter application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1620-1628, 2012.

CASSOL, P. C.; COSTA, A. C.; CIPRANDI, O.; PANDOLFO, C. M.; ERNANI, P. R. Disponibilidade de macronutrientes e rendimento de milho em Latossolo fertilizado com dejetos suíno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1911-1923, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000600025>. Acesso em: 20 nov. 2019.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 729-735, 2003.

CHIVENGE, P.; VANLAUWE, B.; SIX, J. Does the combined application of organic and mineral nutrient sources influence maize productivity? A meta-analysis. **Plant and Soil**, [S.l.], v. 342, p. 1-30, 2011. Disponível em: 10.1007/s11104-010-0626-5. Acesso em: 05 nov. 2019.

CHOUHARY, M.; PANDAY, S. C.; MEENA, V. S.; SINGH, S.; YADAV, R. P.; MAHANTA, D.; MONDALL, T.; MISHARA, P. K.; BISHT, J. K.; PATTANAYAK, A. Long-term effects of organic manure and inorganic fertilization on sustainability and chemical soil quality indicators of soybean-wheat cropping system in the Indian mid-Himalayas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 257, p. 38-46, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.029>. Acesso em: 20 nov. 2019.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica das safras**. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 20 nov. 2019.

DA ROS, C. O.; SILVA, V. R.; SILVESTRIN, T. B.; SILVA, R. F.; PESSOTTO, P. P. Disponibilidade de nutrientes e acidez do solo após aplicações sucessivas de água

residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 35-44, 2017.

DEMELASH, N.; BAYU, W.; TESFAYE, S.; ZIADAT, F.; SOMMER, R. Current and residual effects of compost and inorganic fertilizer on wheat and soil chemical properties. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [S.l.], v. 100, p. 357-367, 2014. Disponível em: 10.1007/s10705-014-9654-5. Acesso em: 20 nov. 2019.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2018.

GHOSH, B. N.; MEENA, V. S.; ALAM, N. M.; DOGRA, P.; BHATTACHARYYA, R.; SHARMA, N. K.; MISHRA, P. K. Impact of conservation practices on soil aggregation and carbon management index after seven years on maize-wheat cropping system in the Indian Himalayas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 216, p. 247-257, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.038>. Acesso em: 20 nov. 2019.

GHOSH, B. N., SINGH, R. D., DADHWAL, K. S., Available organic sources for IPNM in North-western Himalayan states for sustainable crop production. **Indian Farming**, [S.l.], v. 56, p. 10-12, 2006.

GHOSH, P. K.; VENKATESH, M. S.; HAZRA, K. K.; KUMAR, N. Long-term effect of pulses and nutrient management on soil organic carbon dynamics and sustainability on an Inceptisol of Indo Gangetic plains of India. **Experimental Agriculture**, [S.l.], v. 48, p. 473-387, 2012. Disponível em: 10.1017/S0014479712000130. Acesso em: 20 nov. 2019.

HAFIDI, M.; AMIR, S.; MEDDICH, A.; JOURAIPHY, A.; WINTERTON, P.; GHAROUS, M. E.; DUPONNOIS, R. Impact of applying composted biosolids on wheat growth and yield parameters on a calcimagnesian soil in a semi-arid region. **African Journal of Biotechnology**, [S.l.], v. 11, n. 41, p. 9805-9815, 2012. Disponível em: 10.5897/AJB10.1010. Acesso em: 20 nov. 2019.

HAO, X.; CHANG, C. Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 94, p. 89-103, 2003.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016.

KAPKIYAI, J. J., KARANJA, N. K., QURESHI, J. N., SMITHSON, P. C.; WOOMER, P. L. Soil organic matter and nutrient dynamics in a Kenyan Nitisol under long-term

fertilizer and organic input management. **Soil Biology and Biochemistry**, [S.l.], v. 31, p. 1773-1782, 1999.

KÖRSCHENS, M.; ALBERT, E.; ARMBRUSTER, M.; BARKUSKY, D.; BAUMECKER, M.; BEHLE-SCHALK, L.; BISCHOFF, R.; ČERGAN, Z.; ELLMER, F.; HERBST, F.; HOFFMANN, S.; HOFMAN, B.; KISMANYOKY, T.; KUBAT, J.; KUNZOVA, E.; LOPEZ-FANDO, C.; MERBACH, I.; MERBACH, W.; PARDOR, M. T.; ROGASIK, J.; RÜHLMANN, J.; SPIEGEL, H.; SCHULZ, E.; TAJNSEK, A.; TOTH, Z.; WEGENER, H.; ZORN, W. Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of twenty-first century. **Archives of Agronomy and Soil Science**, [S.l.], v. 59, n. 8, p. 1017-1040, 2013. Disponível em: [10.1080/03650340.2012.704548](https://doi.org/10.1080/03650340.2012.704548). Acesso em: 20 nov. 2019.

KÖRSCHENS, M. The importance of long-term field experiments for soil science and environmental research – a review. **Plant, Soil and Environment**, [S.l.], v. 52, p. 1-8, 2006.

KULHÁNEK, M.; BALÍK, J.; ČERNÝ, J.; VAŠÁK, F.; SHEJBALOVÁ, Š. Influence of long-term fertilizer application on changes of the content of Mehlich-3 estimated soil macronutrients. **Plant, Soil and Environment**, [S.l.], v. 60, n. 4, p. 151-157, 2014.

LI, L.; HAN, X. Changes of soil properties and carbon fractions after long-term application of organic amendments in Mollisols. **Catena**, [S.l.], v. 143, p. 140-144, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.04.007>. Acesso em: 20 nov. 2019.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; TENTIN, G.; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; BRUNETTO, G. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1827-1836, 2011.

LOURENZI, C. R.; SCHERER, E. E.; CERETTA, C. A.; TIECHER, T. L.; CANCIAN, A.; FERREIRA, P. A. A.; BRUNETTO, G. Atributos químicos de Latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejetos líquidos de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 51, p. 233-242, 2016.

MALTAS, A.; KEBLI, H.; OBERHOLZER, H. R.; WEISSKOPF, P.; SINAJ, S. The effects of organic and mineral fertilizers on carbon sequestration, soil properties, and crop yields from a long-term field experiment under a Swiss conventional farming system. **Land Degradation e Development**, [S.l.], v. 29, p. 926–938, 2018. Disponível em: [10.1002/ldr.2913](https://doi.org/10.1002/ldr.2913). Acesso em: 20 nov. 2019.

MAMIA, A.; AMIN, A. K. M. R.; ROY, T. S.; FARUK, G. M. Influence of inorganic and organic fertilizers on growth and yield of soybean. **Bangladesh Agronomy Journal**, [S.l.], v. 21, p. 77-81, 2018.

MARTÍNEZ, E.; DOMINGO, F.; ROSELLÓ, A.; SERRA, J.; BOIXADERA, J.; LLOVERAS, J. The effects of dairy cattle manure and mineral N fertilizer on irrigated

maize and soil N and organic C. **European Journal of Agronomy**, [S.l.], v. 83, p. 78-85, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.10.002>. Acesso em: 20 nov. 2019.

MATSI, T. H.; LITHOURGIDIS, A. S.; BARBAYIANNIS, N. Effect of liquid cattle manure on soil chemical properties and corn growth in Northern Greece. **Experimental Agriculture**, [S.l.], v. 51, n. 3, p. 435-450, 2014. Disponível em: [10.1017/S0014479714000404](https://doi.org/10.1017/S0014479714000404). Acesso em: 20 nov. 2019.

MELLEK, J. E.; DIECKOW, J.; SILVA, V. L.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F. M.; SOUZA, J. L. M. Dairy liquid manure and no-tillage: physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambissol of Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, [S.l.], v. 110, p. 69-76, 2010. Disponível em: [doi:10.1016/j.still.2010.06.005](https://doi.org/10.1016/j.still.2010.06.005). Acesso em: 05 nov. 2019.

MUCHERU-MUNA, M.; MUGENDI, D.; KUNG'U, J.; MUGWE, J.; BATIONO, A. Effects of organic and mineral fertilizer inputs on maize yield and soil chemical properties in a maize cropping system in Meru South District, Kenya. **Agroforestry Systems**, [S.l.], v. 69, p. 189-197, 2007. Disponível em: [10.1007/s10457-006-9027-4](https://doi.org/10.1007/s10457-006-9027-4). Acesso em: 20 nov. 2019.

NANNIPIERI, P.; CECCANTI, B.; GREGO, S. Ecological significance of biological activity in soil. In: BOLLAG, G. M.; STOTZKY, G. (Ed.). **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1990. p. 293-355.

NEPAR - Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

O'BRIEN, P. L.; HATFIELD, J. Dairy manure and synthetic fertilizer: A meta-analysis of crop production and environmental quality. **Agrosystems, Geosciences e Environment**, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 1-12, 2019. Disponível em: [10.2134 / idade2019.04.0027](https://doi.org/10.2134/idade2019.04.0027). Acesso em: 20 nov. 2019.

PAULETTI, V.; BARCELLOS, M.; MOTTA, A. C. V.; MONTE SERRAT, B.; SANTOS, I. R. Produtividade de culturas sob diferentes doses de esterco líquido de gado de leite e de adubo mineral. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 199-205, 2008.

PINTO, F. A.; SANTOS, F. L.; TERRA, F. D.; RIBEIRO, D. O.; SOUSA, R. R. J.; SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos de solo sob pastejo rotacionado em função da aplicação de cama de peru. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 3, p. 254-262, 2012.

RAIJ, B. VAN.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, Â. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997.

RAIJ, B. VAN. Capacidade de troca catiônica das frações orgânicas e minerais dos solos. **Bragantia**, [S.l.], v. 28, p. 85-112, 1969. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051969000100008>. Acesso em: 22 dez. 2019.

RAIJ, B. VAN; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2011. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 05 nov. 2019.

ROY, E. D. Phosphorus recovery and recycling with ecological engineering: A review. **Ecological Engineering**, [S.l.], v. 98, p. 213–227, 2017.

SADEGHPOUR, A.; KETTERINGS, Q. M.; VERMEYLEN, F.; GODWIN, G. S.; CZYMMEK, K. J. Soil properties under Nitrogen- vs. Phosphorus-based manure and compost management of corn. **Soil Science Society of America Journal**, [S.l.], v. 80, p. 1272-1282, 2016. Disponível em: 10.2136 / sssaj2016.03.0086. Acesso em: 20 nov. 2019.

SANTI, A.; AMADO, T. J. C.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. I – Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1075-1083, 2003.

SANTOS, V. R.; FILHO, G. M.; SANTOS, C. G.; SANTOS, M. A. L.; CUNHA, J. L. X. L. Contribuição de argilominerais e da matéria orgânica na CTC dos solos do estado de Alagoas. **Revista Caatinga**, [S.l.], v. 22, n. 1, p. 27-36, 2009.

SARTOR, L.R.; ASSMANN, A. L.; ASSMANN, T. S.; BIGOLIN, P. E.; MIYAZAWA, M.; CARVALHO, P. C. F. Effect of swine residue rates of corn, common bean, soybean and wheat yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 661-669, 2012.

SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1375-1383, 2010.

SILVA, J. C. P. M.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V.; FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A. S.; VELOSO, C. M.; SILVA, L. F. C. Esterco líquido de bovinos leiteiros combinado com adubação mineral sobre atributos químicos de um Latossolo Bruno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 32, p. 2563-2572, 2008.

SILVA, J. C. P. M.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V.; VELOSO, C. M.; FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A. S.; SILVA, L. F. C. Esterco de gado leiteiro associado a adubação mineral e sua influência na fertilidade de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 34, p. 453-463, 2010.

SINGH, M.; REDDY, K. S.; SINGH, V. P.; RUPA, T. R. Phosphorus availability to rice (*Oriza sativa* L.) – wheat (*Triticum aestivum* L.) in a Vertisol after eight years of inorganic and organic fertilizer additions. **Bioresource Technology**, [S.l.], v. 98, p. 1474-1481, 2007. Disponível em: [10.1016/j.biortech.2006.02.045](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.045). Acesso em: 05 nov. 2019.

SINGH, R. J.; GHOSH, B. N.; SHARMA, N. K.; PATRA, S.; DADHWAL, K. S.; MEENA, V. S.; DESHWAL, J. S.; MISHRA, P. K. Effect of seven years of nutrient supplementation through organic and inorganic sources on productivity, soil and water conservation, and soil fertility changes of maize-wheat rotation in north-western Indian Himalayas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 249, p. 177-186, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.024>. Acesso em: 20 nov. 2019.

SOUZA, V. Q.; NARDINO, M.; BONATO, G. O.; BAHRY, C. A.; CARON, B. O.; ZIMMER, P. D.; SCHMIDT, D. Desfolha em diferentes estádios fenológicos sobre características agrônômicas em trigo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1905-1911, 2013.

SYSTAT SOFTWARE. **Sigmaplot for Windows Version 11.0**. San José: Systat Software Inc., 2010. Disponível em: <https://systatsoftware.com/products/sigmaplot/>. Acesso em: 11 dez. 2019.

TEJADA, M.; HERNANDEZ, M.; GARCIA, C. Restauração do solo utilizando resíduos de compostagem: efeitos nas propriedades do solo. **Soil and Tillage Research**, [S.l.], v. 102, n. 1, p. 109-117, 2009. Disponível em: [10.1016 / j.still.2008.08.004](https://doi.org/10.1016/j.still.2008.08.004). Acesso em: 13 nov. 2019.

TLUSTOŠ, P.; HEJCMAN, M.; KUNZOVÁ, E.; HLISNIKOVSÝ, L.; ZÁMEČNÍKOVÁ, H.; SZÁKOVÁ, J. Nutrient status of soil and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to long-term farmyard manure application under different climatic and soil physicochemical conditions in the Czech Republic. **Archives of Agronomy and Soil Science**, [S.l.], v. 64, n. 1, p. 70-83, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1331297>. Acesso em: 18 dez. 2019.

VELOSO, M. E. C.; DUARTE, S. N.; NETO, D. D.; SILVA, E. C.; PEREIRA, C. R. Teor de nitrogênio, índices de área foliar e de colheita, no milho, em função da adubação nitrogenada, em solo de várzea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 13-25, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v8n1p13-25>. Acesso em: 16 dez. 2019.

WHALEN, J. K.; CHANG, C.; CLAYTON, G. W.; CAREFOOT, J. P. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, [S.l.], v. 64, p. 962-966, 2000.

WITHERS, P. J. A.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; CARVALHO, T. S.; GUILHERME, L. R. G.; BENITES, V. M.; GATIBONI, L. C.; SOUSA, D. M. G.; NUNES, R. S.; ROSOLEM, C. A.; ANDREOTE, F. D.; OLIVEIRA Jr. A.; COUTINHO, E. L. M.; PAVINATO, P. S. Transitions to sustainable management of phosphorus in

Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, [S.l.], v. 8, p. 25-37, 2018. Disponível em: [10.1038/s41598-018-20887-z](https://doi.org/10.1038/s41598-018-20887-z). Acesso em: 18 dez. 2019.

4 CAPÍTULO III: DESSORÇÃO E RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS COM APLICAÇÃO DE DEJETO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LONGO PRAZO

4.1 RESUMO

Aplicações anuais de dejetos na mesma área agrícola podem promover acúmulo de fósforo e saturação progressiva da capacidade de sorção e, assim, modificar as características de dessorção desse nutriente no solo. Baseado nisso, o objetivo do trabalho foi determinar a influência da aplicação de doses de dejetos líquido bovino (DLB), em adição a adubação mineral, na dessorção e recuperação de fósforo (P) em solos com diferentes texturas. Foram coletadas amostras de solo em dois experimentos de longa duração, instalados em novembro de 2005 e maio de 2006, sob plantio direto. Os solos das áreas são classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico e Latossolo Bruno Distrófico típico, texturas franco-argiloarenosa e muito argilosa, respectivamente. Os tratamentos consistiram de quatro doses de DLB (0, 60, 120, 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), em adição a adubação mineral (mesma quantidade para todos os tratamentos), com quatro repetições. Cada dose de DLB foi aplicada na superfície do solo, sem incorporação, metade na safra de inverno e metade na safra de verão. Foram coletadas amostras de solo em março de 2015, nove anos e quatro meses e oito anos e dez meses após a primeira aplicação de dejetos nos solos com textura franco-argiloarenosa e muito argilosa, respectivamente. Foram avaliados: dessorção de P, por meio de extrações sucessivas com resina trocadora de ânions (RTA), nas camadas 0-5, 5-10, 10-15 e 0-15 cm e, recuperação do P na camada 0-15 cm, obtido pela diferença entre o P adicionado via fertilizante mineral e dejetos, o P exportado pelos grãos, o P perdido por erosão e o P que permaneceu no solo potencialmente disponível (P dessorvido total, obtido com as extrações sucessivas com RTA nas camadas 0-5, 5-10 e 10-15 cm). Em geral, na camada 0-5 cm, a aplicação da maior dose de DLB resultou em maior P dessorvido em ambos os solos. Nas camadas 5-10 cm e 0-15 cm, de modo geral, no solo com textura franco-argiloarenosa, com a aplicação de 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ verificou-se maior dessorção de P, enquanto no solo com textura muito argilosa, somente a aplicação da maior dose de DLB aumentou esta variável. Já na camada 10-15 cm, não foi verificada influência da aplicação de DLB na dessorção de P. Uma extração com resina subestimou de 52% a 61% o P dessorvido total no Latossolo com textura franco-argiloarenosa e de 62% a 70% no Latossolo com textura muito argilosa. Quanto maior a dose aplicada menor a recuperação de P do solo, variando de 92% a 51% no solo franco-argiloarenoso e de 78% a 41% no solo muito argiloso, da ausência de aplicação para a maior dose de DLB, respectivamente. O incremento da dose de DLB aplicada por longo prazo, adicional a adubação mineral, aumenta a dessorção de P do solo, apesar de reduzir a recuperação deste elemento no solo.

Palavras-chave: Fósforo no solo. Doses de dejetos. Resina Trocadora de Ânions. Extrações sucessivas. Sistema plantio direto.

4.2 ABSTRACT

Annual applications of manure in the same agricultural area can promote phosphorus accumulation and progressive saturation of sorption capacity, and thus modify the desorption characteristics of this nutrient in the soil. Based on this, the aim of this work was to determine the influence of the doses of dairy liquid manure (DLM) application, additional to the mineral fertilization, on the phosphorus (P) desorption and recovery in soils with different textures. Soil samples were collected in two long-term experiments, installed in November 2005 and May 2006, under no-tillage. The soils of the areas are classified as Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico and Latossolo Bruno Distrófico típico, sandy clay loam and clayey texture, respectively. The treatments consisted of four doses of DLM (0, 60, 120, 180 m³ ha⁻¹ year⁻¹), additional to the mineral fertilization (same amount for all treatments), with four replications. Each dose of DLM was applied on the soil surface, without incorporation, half in the winter harvest and half in the summer harvest. Soil samples were collected in March 2015, nine years and four months and eight years and ten months after the first manure application on sandy clay loam and on clayey soils, respectively. Evaluations performed: P desorption by successive extractions with anion exchange resin (AER), in layers 0-5, 5-10, 10-15 e 0-15 cm, and phosphorus recovery in the 0-15 cm layer, obtained by the difference between P added via mineral fertilizer and manure, P exported from grains, P lost from erosion and P that remained potentially available soil (total desorbed P, obtained by successive extractions with AER in layers 0-5, 5-10 and 10-15 cm). In general, in the 0-5 cm layer, the application of the highest dose of DLM resulted in higher P desorbed in both soils. In the 5-10 cm and 0-15 cm layers, generally, in sandy clay loam soil, with the application of 120 and 180 m³ ha⁻¹ year⁻¹ higher P desorption was verified, while in clayey soil, only the application of the highest dose of DLM increased this variable. In the 10-15 cm layer, there was no influence of DLM application on P desorption. One extraction with resin underestimated from 52% to 61% the total desorbed P in the sandy clay loam soil and from 62% to 70% in the clayey soil. The higher dose applied, the lower P recovery of the soil, ranging from 92% to 51% in the sandy clay loam soil and from 78% to 41% in clayey soil, from the absence of application for the highest dose of DLM, respectively. Increasing the long-term applied dose of DLM, additional to the mineral fertilization, increases soil P desorption, although it reduces P soil P recovery.

Keywords: Soil phosphorus. Manure doses. Anion Exchange Resin. Successive extractions. No-tillage system.

4.3 INTRODUÇÃO

Os dejetos são reutilizados como fonte de nutrientes às plantas, sendo que os benefícios da aplicação destes na agricultura são bem conhecidos (KAPKIYAI et al., 1999; HAO; CHANG, 2003; ABEDI; ALEMZADEH; KAZEMEINI, 2010; BHATTACHARYYA et al., 2010; MELLEK et al., 2010; CHIVENGE; VANLAUWE; SIX, 2011; ABDALA et al., 2012; SARTOR et al., 2012; BARCELLOS et al., 2015; BAGHDADI et al., 2018; MAMIA et al., 2018). No entanto, devido ao grande volume de dejetos produzidos, associado ao alto custo de transporte, normalmente são realizadas aplicações sucessivas destes em áreas próximas de onde são gerados e armazenados, em associação com a adubação mineral, muitas vezes sem considerar a quantidade de nutrientes aplicada (CERETTA et al., 2003, HAO; CHANG, 2003; CERETTA et al., 2005; GATIBONI et al., 2008; WITHERS et al., 2018).

Aplicações consecutivas de dejetos por muito tempo na mesma área podem resultar em elevado acúmulo de fósforo (P) no solo e saturação progressiva da capacidade de sorção. Com isso ocorre redução da energia de adsorção e, conseqüente, aumento da dessorção e da disponibilidade deste nutriente ao longo dos anos com as novas adubações. Entretanto, pode implicar em perdas de P via escoamento superficial e subsuperfície, transformando-se em um problema ambiental (BOLLAND et al., 1996; BERWANGER; CERETTA; RHEINHEIMER, 2008; CASTOLDI; STEIN; BECHINI, 2009; CERETTA et al., 2010b; GIROTTO et al., 2010; PIZZEGHELLO et al., 2011; ABDALA et al., 2012; WITHERS et al., 2018).

O P acumulado encontra-se em diversas formas, adsorvido com diferentes graus de energia, apresentando variação na capacidade de dessorção e abastecimento da solução do solo (BARROW; BOLLAND; ALLEN, 1998; GUPPY et al., 2005; ANTELO et al., 2007). Na avaliação da fertilidade, o P é dividido de acordo com a facilidade de reposição deste nutriente à solução do solo (formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis). Quando o objetivo da análise é a estimativa da disponibilidade de P às plantas em curto prazo, são utilizados métodos de menor poder de extração, dentre os quais, destacam-se Mehlich-1 e Resina Trocadora de Ânions (RTA) (SILVA; RAIJ, 1999).

Embora os procedimentos utilizados na análise de rotina de P sejam rápidos e simples, constituídos de uma só extração, alguns trabalhos evidenciaram que a

utilização de extrações sucessivas com os mesmos possibilita a ampliação do valor de P dessorvido, e que estes métodos acessam apenas parte do P potencialmente disponível às plantas (CAMPELLO et al., 1994; MCKEAN; WARREN, 1996; RHEINHEIMER; ANGHINONI; KAMINSKI, 2000; GATIBONI et al., 2002; RHEINHEIMER et al., 2003; CAMÊLO et al., 2015). Além disso, as taxas de dessorção são, na maioria dos casos, desconsideradas no planejamento das adubações (RHEINHEIMER; ANGHINONI; KAMINSKI, 2000; WITHERS et al., 2018).

Neste contexto, considerando a dificuldade de acesso às reservas mundiais de P (ELSER; BENNETT, 2011; CORDELL; WHITE, 2014), associado à exigência de aumento na produção de alimentos, a estratégia recomendada tem sido aumentar a eficiência do P aplicado e usar as reservas acumuladas deste nutriente no solo, e assim reduzir os custos de produção e as possíveis perdas de P para o ambiente (MACDONALD et al., 2011; WITHERS et al., 2014; MIHAILESCU et al., 2015; ROY et al., 2016; RODRIGUES et al., 2016; WITHERS et al., 2018; VAN DER BOM et al., 2019; ZHANG et al., 2020). E, para que isso aconteça, o monitoramento eficiente do status do P no solo é indispensável.

Assim, o objetivo do trabalho foi determinar a influência da aplicação de doses de dejetos líquidos bovinos (DLB) em longo prazo, adicional a adubação mineral, na dessorção e recuperação de fósforo em solos com diferentes texturas.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 ÁREA EXPERIMENTAL

As amostras de solo analisadas foram coletadas em dois experimentos de longa duração, instalados em solos com diferentes texturas, conduzidos em duas estações experimentais da Fundação ABC.

O primeiro experimento foi instalado em Ponta Grossa-PR, em novembro de 2005, num Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (EMBRAPA, 2018), textura franco-argiloarenosa, com 13% de declividade. O segundo experimento foi instalado em maio de 2006, no município de Castro-PR, num Latossolo Bruno Distrófico típico (EMBRAPA, 2018), textura muito argilosa, com 10% de declividade. O clima da região é classificado como Cfb (Köppen), clima temperado, com precipitação média

anual de 1.554 mm, sem estação seca definida e a temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C (ALVARES et al., 2014).

Os experimentos foram conduzidos em sistema de plantio direto, em áreas há mais de 15 anos sob este sistema, com rotação de culturas envolvendo aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e trigo (*Triticum aestivum* L.) no inverno e soja (*Glycine max* (L.) Merr.) e milho (*Zea mays* L.) no verão. As variáveis químicas e os teores de argila, silte e areia dos solos anterior à instalação dos experimentos constam na TABELA 6 (Capítulo 2) para o Latossolo com textura franco-argiloarenosa e na TABELA 1 (Capítulo 1) para o Latossolo com textura muito argilosa.

Os tratamentos consistiram de quatro doses de dejetos líquido bovino (DLB) (0, 60, 120, 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹), delineados em esquema de blocos ao acaso, com quatro repetições. As parcelas apresentavam 29,8 m² (8,5 m de comprimento por 3,5 m de largura). Cada dose de DLB foi aplicada sobre a superfície do solo, em área total, de forma manual, sem incorporação, e dividida em duas aplicações: metade na semeadura da cultura de inverno e metade na semeadura da cultura de verão. As características químicas do DLB e as quantidades de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) aplicadas via dejetos constam na TABELA 7 e TABELA 8 (Capítulo 2) para o experimento conduzido no Latossolo com textura franco-argiloarenosa e na TABELA 2 e TABELA 3 (Capítulo 1) para o experimento instalado no Latossolo com textura muito argilosa.

Além da aplicação de dejetos, foi realizada adubação mineral (NPK) em todos os tratamentos, de acordo com a recomendação às culturas (SBCS, 2004). As quantidades de N, P e K aplicadas nas diferentes safras via adubo mineral estão apresentadas na TABELA 9 (Capítulo 2) e na TABELA 4 (Capítulo 1), para os experimentos instalados nos solos com textura franco-argiloarenosa e muito argilosa, respectivamente. A adubação mineral foi realizada no sulco de semeadura com formulações de NPK e em cobertura com adubos simples (ureia e KCl). Durante a condução do experimento no solo franco-argiloarenoso (Ponta Grossa) não foi realizada calagem. No experimento conduzido no solo muito argiloso (Castro) foram realizadas duas aplicações de corretivos de acidez, em maio de 2007 e agosto de 2013, com aplicação de 2.500 e 1.900 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico, respectivamente.

No Latossolo com textura franco-argiloarenosa foram conduzidas 19 safras (2005/06 – 2014/15), sendo destas, 13 com finalidade de produção de grãos (cinco de soja, cinco de milho e três de trigo). No Latossolo com textura muito argilosa, durante o período de condução do experimento foram cultivadas 18 safras (2006 – 2014/15), sendo 13 com finalidade de produção de grãos (cinco de soja, quatro de milho e quatro de trigo).

4.4.2 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DOS SOLOS

Foram coletadas amostras de solo em março de 2015, nove anos e quatro meses após a primeira aplicação de dejetos no Latossolo com textura franco-argiloarenosa (Ponta Grossa) e oito anos e dez meses após o início do experimento no Latossolo com textura muito argilosa (Castro). A amostragem foi realizada em duas minitrincheiras por parcela, sendo uma localizada na parte superior e outra na parte inferior da parcela. Cada minitrincheira mediu 30 por 30 cm e o solo de cada camada (0-5, 5-10 e 10-15 cm) foi coletado em toda a trincheira, e após homogeneização, foi separada amostra para as análises. Além disso, com os dados médios, avaliou-se a camada 0-15 cm.

A dessorção de P foi determinada por extrações sucessivas com resina trocadora de ânions em membrana (RTA) (P potencialmente disponível), de acordo com metodologia adaptada descrita por McKean e Warren (1996) e Rheinheimer, Anghinoni e Kaminski (2000).

Dessa forma, pesou-se 0,500 g de solo e em seguida foi alocado em tubo falcon de 50 mL, adicionando 30 mL de água ultrapura e uma membrana de resina (3,0 x 2,5 cm) saturada com NaHCO_3 0,5 mol L^{-1} . O material foi agitado por 16 horas em agitador horizontal, aproximadamente 90 oscilações min^{-1} . Posteriormente, as membranas de resina foram retiradas dos tubos falcon, lavadas com jato de água ultrapura e colocadas em frascos coletores com 50 mL de HCl 0,5 mol L^{-1} , onde permaneceram por 90 min e depois foram agitadas por 30 min, em agitador orbital, 100 - 120 oscilações min^{-1} . A partir da quarta extração foram utilizados 30 mL de HCl 0,5 mol L^{-1} para concentrar os teores de P nas amostras. A determinação do teor de P de cada extração foi realizada no Espectrofotômetro de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado ICP-OES.

A extração foi repetida até que o teor de P extraído fosse próximo de zero. Sendo assim, foram realizadas 12 extrações para o Latossolo com textura franco-argiloarenosa e 18 extrações para o Latossolo com textura muito argilosa. Após cada extração, as amostras de solo permaneceram no tubo falcon e foram centrifugadas por 10 a 15 min a 5000 rpm, com o intuito de separar o solo do sobrenadante, que foi descartado, e em seguida realizou-se novamente o processo de extração. Entre as extrações não houve intervalo de descanso da amostra de solo, uma vez que, Rheinheimer, Anghinoni e Kaminski (2000) não observaram diferenças na dessorção de P entre diferentes tempos de repouso das amostras.

A recuperação das resinas com HCl 1 mol L⁻¹ e a saturação das resinas com NaHCO₃ seguiram método adaptado de Hedley, Stewart e Chauhan (1982) e Gatiboni (2003) (comunicação pessoal, Dione Aguiar; Vander de Freitas Melo, 2019). A recuperação, realizada após cada extração, consistiu em colocar as resinas em frascos com 40 mL de HCl 1 mol L⁻¹ e agitar por 2h, posterior, alocá-las em frascos com 40 mL de água ultrapura e agitar por 1h. Para saturação, realizada a cada cinco extrações, as resinas foram colocadas em frascos com 40 mL de NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ e agitadas por 2h, após foram alocadas em frascos com 40 mL de água ultrapura e submetidas à agitação por 2h. A agitação para recuperação e saturação das resinas foi realizada em agitador orbital, 100 - 120 oscilações min⁻¹.

O P recuperado da camada 0-15 cm foi obtido pela diferença entre o P adicionado via fertilizante mineral e dejetos, o P exportado pelos grãos, o P perdido por erosão e o P que permaneceu no solo potencialmente disponível, determinado com a soma das extrações sucessivas com RTA (P dessorvido total) nas camadas 0-5, 5-10 e 10-15 cm. Para obtenção dos teores de P potencialmente disponível em kg ha⁻¹ foram utilizados dados de densidade do solo de trabalhos conduzidos nas áreas. Na camada 0-5 cm a densidade do solo utilizada foi de 1,36 e 0,884 g cm⁻³, na camada 5-10 cm foi de 1,52 e 1,007 g cm⁻³ e na camada 10-15 cm foi de 1,55 e 1,134 g cm⁻³, considerando o solo com textura franco-argiloarenosa e muito argilosa, respectivamente (MORI, 2008; TIMOFIECSYK, 2009).

O fósforo adicionado via adubo mineral e DLB em cada safra e o total adicionado, constam na TABELA 11 e TABELA 12, para o solo com textura franco-argiloarenosa e muito argilosa, respectivamente. O P exportado foi calculado a partir dos teores médios deste nutriente contido nos grãos e a produtividade de cada cultura obtida nos mencionados tratamentos em todas as safras avaliadas

(considerando umidade de 0%). Estes dados constam na TABELA 13 e TABELA 14, para o Latossolo com textura franco-argiloarenosa e muito argilosa, respectivamente. O teor médio de P nos grãos foi obtido considerando três safras de soja, três de milho e duas de trigo (conduzidas nas áreas), sendo estes teores similares à literatura (NEPAR, 2019). Para obtenção do P perdido por erosão foram obtidas proporções entre P solúvel e P particulado perdido por escoamento superficial das parcelas onde foram coletadas as amostras de solo (SILVEIRA, 2009; TIMOFIECSYK, 2009) e, com dados de perda de P solúvel durante o período de avaliação (comunicação pessoal Nerilde Favaretto, 2019), os dados foram extrapolados para P total (TABELA 15). O P potencialmente disponível foi obtido conforme supracitado.

TABELA 11 – FÓSFORO ADICIONADO VIA ADUBO MINERAL (MINERAL) E DEJETO LÍQUIDO BOVINO (DLB) NAS DIFERENTES SAFRAS (INVERNO/VERÃO) DESDE A INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO NO LATOSSOLO COM TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA.

Safr	Dose 0		Dose 60		Dose 120		Dose 180	
	Mineral	DLB	Mineral	DLB	Mineral	DLB	Mineral	DLB
	kg ha ⁻¹							
Verão 2005/06	27,0	0,0	27,0	6,6	27,0	13,2	27,0	19,7
Inverno 2006	0,0	0,0	0,0	25,3	0,0	50,6	0,0	75,9
Verão 2006/07	56,0	0,0	56,0	20,7	56,0	41,4	56,0	62,1
Inverno 2007	26,0	0,0	26,0	18,9	26,0	37,7	26,0	56,6
Verão 2007/08	26,0	0,0	26,0	17,9	26,0	35,8	26,0	53,8
Inverno 2008	0,0	0,0	0,0	20,8	0,0	41,7	0,0	62,5
Verão 2008/09	42,0	0,0	42,0	18,1	42,0	36,2	42,0	53,4
Inverno 2009	26,0	0,0	26,0	22,9	26,0	45,8	26,0	68,7
Verão 2009/10	26,0	0,0	26,0	19,5	26,0	39,0	26,0	58,4
Inverno 2010	0,0	0,0	0,0	23,7	0,0	47,3	0,0	71,0
Verão 2010/11	42,0	0,0	42,0	36,6	42,0	73,2	42,0	109,8
Inverno 2011	26,0	0,0	26,0	3,9	26,0	7,9	26,0	11,8
Verão 2011/12	26,0	0,0	26,0	16,3	26,0	32,6	26,0	49,0
Inverno 2012	0,0	0,0	0,0	15,7	0,0	31,4	0,0	47,2
Verão 2012/13	41,0	0,0	41,0	11,0	41,0	22,0	41,0	33,0
Inverno 2013	26,0	0,0	26,0	8,9	26,0	17,7	26,0	26,6
Verão 2013/14	26,0	0,0	26,0	11,8	26,0	23,6	26,0	35,4
Inverno 2014	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	5,2	0,0	7,9
Verão 2014/15	42,0	0,0	42,0	38	42,0	76,0	42,0	114,0
Total	458,0	0,0	458,0	339,2	458,0	678,3	458,0	1016,8

FONTE: Adaptado de Abboud (2016).

TABELA 12 - FÓSFORO ADICIONADO VIA ADUBO MINERAL (MINERAL) E DEJETO LÍQUIDO BOVINO (DLB) NAS DIFERENTES SAFRAS (INVERNO/VERÃO) DESDE A INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO NO LATOSSOLO COM TEXTURA MUITO ARGILOSA.

Safr	Dose 0		Dose 60		Dose 120		Dose 180	
	Mineral	DLB	Mineral	DLB	Mineral	DLB	Mineral	DLB
	kg ha ⁻¹							
Inverno 2006	0,0	0,0	0,0	23,1	0,0	46,1	0,0	69,2
Verão 2006/07	37,0	0,0	37,0	18,3	37,0	36,7	37,0	55,0
Inverno 2007	0,0	0,0	0,0	12,3	0,0	24,6	0,0	36,9
Verão 2007/08	26,0	0,0	26,0	21,5	26,0	43,0	26,0	64,4
Inverno 2008	39,0	0,0	39,0	18,4	39,0	36,7	39,0	55,1
Verão 2008/09	22,0	0,0	22,0	9,6	22,0	19,2	22,0	28,8
Inverno 2009	0,0	0,0	0,0	16,8	0,0	33,7	0,0	50,5
Verão 2009/10	41,0	0,0	41,0	27,5	41,0	55,0	41,0	82,5
Inverno 2010	30,0	0,0	30,0	21,1	30,0	42,1	30,0	63,3
Verão 2010/11	26,0	0,0	26,0	25,2	26,0	50,5	26,0	75,7
Inverno 2011	0,0	0,0	0,0	24,9	0,0	49,7	0,0	74,6
Verão 2011/12	39,0	0,0	39,0	20,6	39,0	41,1	39,0	61,7
Inverno 2012	26,0	0,0	26,0	19,6	26,0	39,2	26,0	58,7
Verão 2012/13	26,0	0,0	26,0	16,1	26,0	32,2	26,0	48,4
Inverno 2013	0,0	0,0	0,0	18,4	0,0	36,8	0,0	55,3
Verão 2013/14	41,0	0,0	41,0	12,9	41,0	25,7	41,0	38,6
Inverno 2014	26,0	0,0	26,0	26,2	26,0	52,4	26,0	78,6
Verão 2014/15	26,0	0,0	26,0	21,0	26,0	41,9	26,0	62,9
Total	405,0	0,0	405,0	352,8	405,0	705,6	405,0	1058,4

FONTE: Adaptado de Abboud (2016).

TABELA 13 – TEORES MÉDIOS DE FÓSFORO (P) EXPORTADO E P EXPORTADO TOTAL NO EXPERIMENTO CONDUZIDO EM LATOSSOLO COM TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA (PONTA GROSSA-PR).

DLB ⁽¹⁾	Repetição	P exportado (g kg ⁻¹)			P exportado total (kg ha ⁻¹) ⁽²⁾			
		Soja	Milho	Trigo	Soja	Milho	Trigo	Total
0	1	4,3	2,5	2,8	83,8	139,0	27,8	250,6
0	2	3,8	2,6	2,8	76,0	142,6	24,7	243,3
0	3	4,2	2,6	2,8	81,6	148,5	24,8	255,0
0	4	3,9	2,5	2,9	69,3	140,6	24,1	234,1
60	1	4,3	2,7	2,9	88,4	173,1	27,3	288,8
60	2	4,4	2,7	3,3	88,4	163,6	29,1	281,1
60	3	4,4	3,2	3,4	88,5	199,2	31,1	318,8
60	4	4,2	2,9	3,1	84,4	175,5	28,8	288,7
120	1	4,2	3,0	3,3	96,0	195,3	35,5	326,7
120	2	4,4	3,0	3,6	88,6	201,8	35,4	325,8
120	3	4,4	3,3	3,3	90,0	221,0	32,9	343,8
120	4	4,4	2,6	3,5	90,5	157,2	36,3	284,0
180	1	4,5	3,3	3,6	90,1	217,5	33,4	341,0
180	2	5,0	2,9	3,5	96,1	187,2	31,8	315,1
180	3	4,5	3,4	3,8	92,9	225,9	37,5	356,3
180	4	4,5	3,0	3,5	91,0	196,2	31,5	318,7

⁽¹⁾ DLB= dejetto líquido bovino. ⁽²⁾ Obtido considerando cinco safras de soja, cinco safras de milho e três safras de trigo, conduzidas na área no período avaliado.

FONTE: O autor (2019).

TABELA 14 - TEORES MÉDIOS DE FÓSFORO (P) EXPORTADO E P EXPORTADO TOTAL NO EXPERIMENTO CONDUZIDO EM LATOSSOLO COM TEXTURA MUITO ARGILOSA (CASTRO-PR).

DLB ⁽¹⁾	Repetição	P exportado (g kg ⁻¹)			P exportado total (kg ha ⁻¹) ⁽²⁾			
		Soja	Milho	Trigo	Soja	Milho	Trigo	Total
0	1	4,3	2,5	2,8	79,4	120,3	47,9	247,6
0	2	3,8	2,6	2,8	71,5	128,8	49,3	249,5
0	3	4,2	2,6	2,8	79,6	129,9	48,1	257,6
0	4	3,9	2,5	2,9	76,1	125,4	49,0	250,5
60	1	4,3	2,7	2,9	84,8	144,1	61,9	290,9
60	2	4,4	2,7	3,3	91,2	136,1	65,3	292,7
60	3	4,4	3,2	3,4	88,6	164,0	71,6	324,2
60	4	4,2	2,9	3,1	85,0	147,2	58,8	291,0
120	1	4,2	3,0	3,3	87,5	164,4	67,4	319,3
120	2	4,4	3,0	3,6	86,5	167,9	76,8	331,3
120	3	4,4	3,3	3,3	94,3	176,6	65,9	336,8
120	4	4,4	2,6	3,5	92,0	139,4	79,5	310,9
180	1	4,5	3,3	3,6	86,1	186,3	79,4	351,8
180	2	5,0	2,9	3,5	102,0	162,5	73,1	337,6
180	3	4,5	3,4	3,8	93,2	186,1	76,6	355,9
180	4	4,5	3,0	3,5	96,7	164,9	65,5	327,2

⁽¹⁾ DLB= dejetos líquidos bovinos. ⁽²⁾ Obtido considerando cinco safras de soja, quatro safras de milho e quatro safras de trigo, conduzidas na área no período avaliado.

FONTE: O autor (2019).

TABELA 15 – FÓSFORO PERDIDO POR EROSÃO (SOLÚVEL + PARTICULADO) NO PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO NAS UNIDADES EXPERIMENTAIS DE PONTA GROSSA (TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA) E CASTRO (TEXTURA MUITO ARGILOSA).

Dose de DLB ⁽¹⁾	0	60	120	180
P (kg ha ⁻¹) - Ponta Grossa	0,80	0,65	0,61	0,63
P (kg ha ⁻¹) - Castro	0,75	0,34	0,24	0,25

⁽¹⁾ DLB= Dejetos líquidos bovinos (m³ ha⁻¹ ano⁻¹).

FONTE: Adaptado de Silveira (2009) e de Timofiecsyk, 2009, e comunicação pessoal Nerilde Favaretto, 2019.

4.4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

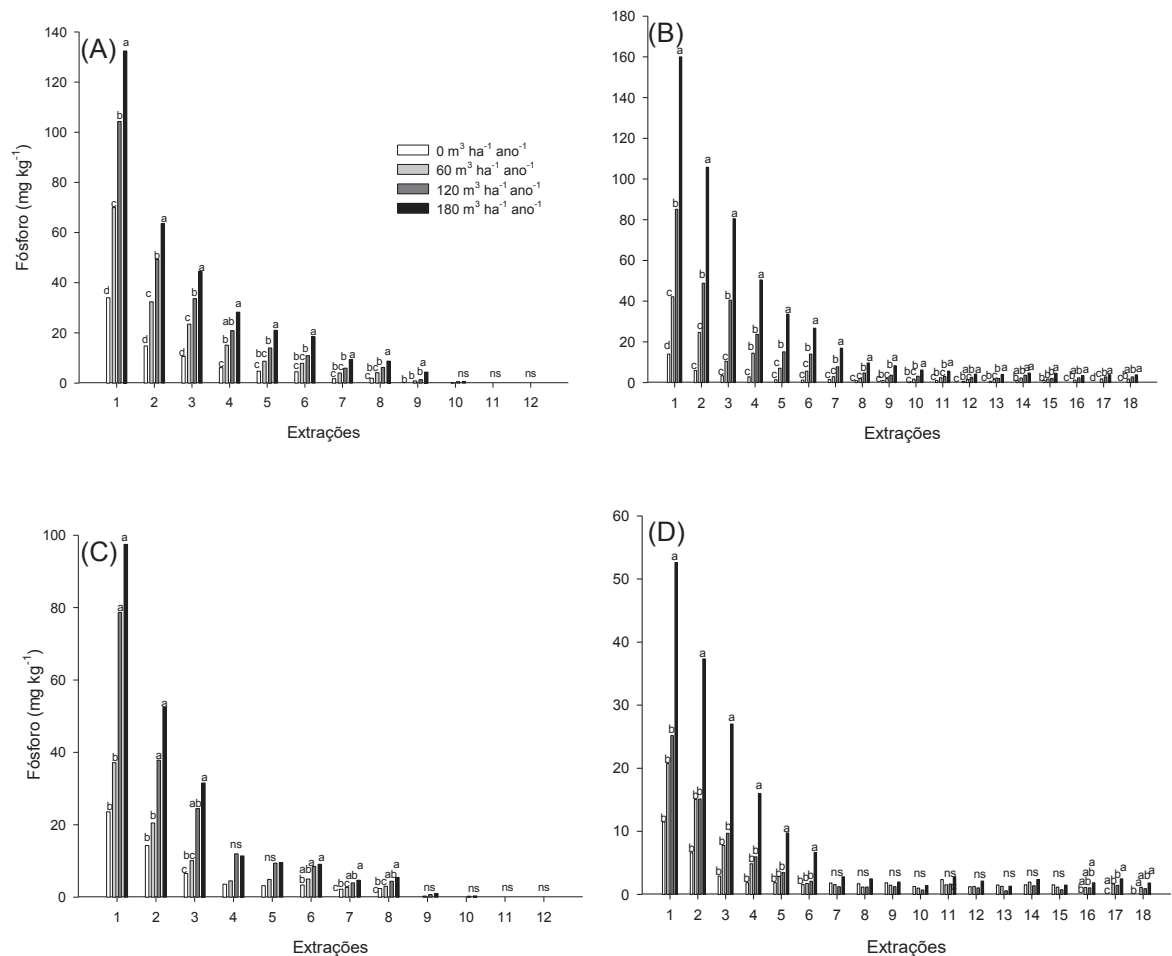
Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (teste de Bartlett) e, quando necessário realizou-se transformação por raiz quadrada. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando constatado efeito significativo ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os resultados da extração 11 das camadas 10-15 cm e 0-15 cm (não paramétricos) foram submetidos à análise pelo teste de Friedman. Todas as análises foram realizadas com auxílio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011) e do Sigma Plot versão 11 (SYSTAT SOFTWARE, 2010).

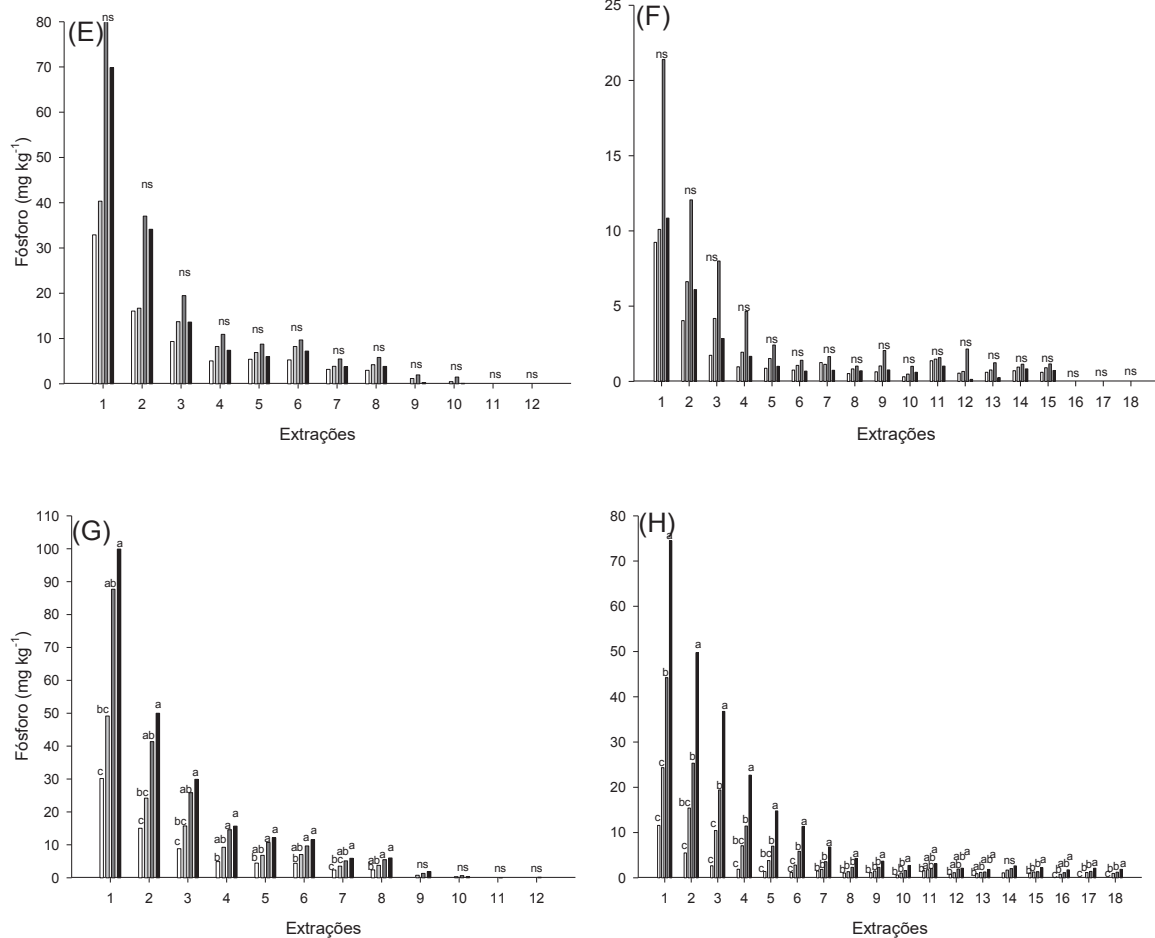
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 DESSORÇÃO DE FÓSFORO

A dessorção de P por extrações sucessivas com resina trocadora de ânions (RTA) foi influenciada pela aplicação de dejetos líquido bovino (DLB) em longo prazo, adicional a adubação mineral, nas camadas 0-5 cm, 5-10 cm e 0-15 cm. E o comportamento foi distinto em cada profundidade e solo avaliado (GRÁFICO 7, GRÁFICO 8).

GRÁFICO 7 – DESSORÇÃO DE FÓSFORO POR EXTRAÇÕES SUCESSIVAS COM RESINA TROCADORA DE ÂNIONS NO LATOSSOLO COM TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA NAS CAMADAS 0-5 CM (A), 5-10 CM (C), 10-15 CM (E) E 0-15 CM (G), E NO LATOSSOLO COM TEXTURA MUITO ARGILOSA NAS CAMADAS 0-5 CM (B), 5-10 CM (D), 10-15 CM (F) E 0-15 CM (H), APÓS APLICAÇÕES ANUAIS DE DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LONGO PRAZO.



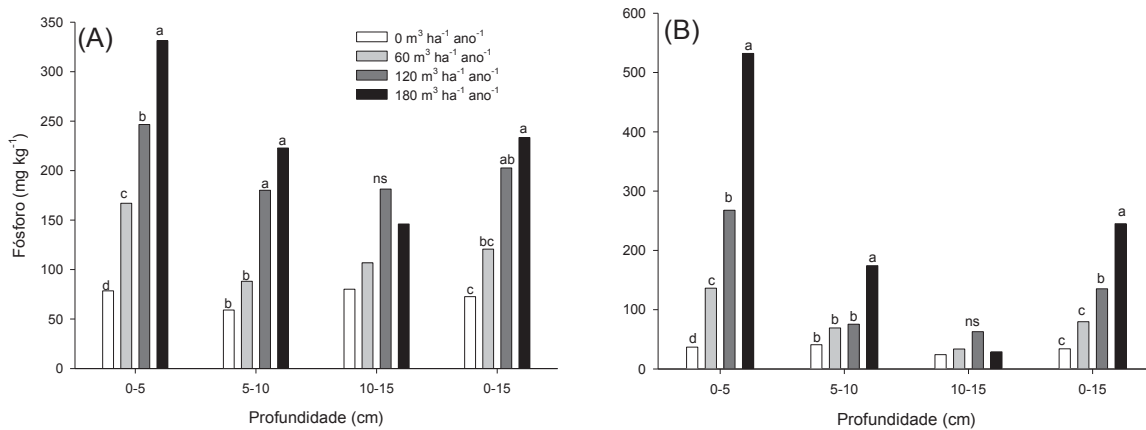


Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O autor (2019).

Na camada 0-5 cm, no Latossolo com textura franco-argiloarenosa, até a terceira extração todas as doses de DLB diferiram entre si em relação ao teor de P dessorvido, e, até a nona extração, verificou-se diferença nesta variável em função da dose de dejetos aplicada (GRÁFICO 7A). Por outro lado, no Latossolo com textura muito argilosa, todas as doses diferiram entre si somente na primeira extração e, observou-se diferença nos teores de P dessorvido em todas as extrações realizadas (GRÁFICO 7B). Em geral, nos dois solos, a aplicação de $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de dejetos resultou em maior P dessorvido em cada extração, decorrente da maior adição deste elemento com o uso desta dose, saturando os sítios de adsorção e tornando o P disponível às plantas. Esse desempenho também foi observado no P dessorvido total, obtido pelo somatório dos teores de P de todas as extrações realizadas (GRÁFICO 8).

GRÁFICO 8 – SOMATÓRIO DO TEOR DE FÓSFORO DESSORVIDO aQNAS 12 (LATOSSOLO COM TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA) (A) E 18 (LATOSSOLO COM TEXTURA MUITO ARGILOSA) (B) EXTRAÇÕES COM RESINA TROCADORA DE ÂNIONS EM SOLOS COM APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LONGO PRAZO.



Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O autor (2019).

Em relação à camada 5-10 cm, no solo franco-argiloarenoso verificou-se diferença no comportamento das doses entre as extrações. De modo geral, a aplicação de 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ resultou em maior P dessorvido (GRÁFICO 7C, GRÁFICO 8A). Por outro lado, no solo muito argiloso, no geral, somente a aplicação da maior dose de DLB aumentou esta variável, mesmo após 18 extrações com RTA (GRÁFICO 7D), resultando em maior teor de P dessorvido total (GRÁFICO 8B).

A aplicação de dejetos não influenciou a dessorção do P na camada 10-15 cm, nos dois solos avaliados (GRÁFICO 7E, GRÁFICO 7F). O mesmo foi observado para o P dessorvido total (GRÁFICO 8). Considerando que os experimentos foram conduzidos em sistema de plantio direto, estes resultados comprovam a baixa mobilidade do P no perfil do solo, decorrente da alta capacidade de adsorção com óxidos de ferro e alumínio, e caulinita (FONTES; WEED, 1996; PIOVESAN et al., 2009). Logo, quando a aplicação de dejetos é realizada na superfície do solo, sem incorporação, o efeito na dessorção de P é mais pronunciado na camada superficial, mesmo após mais de oito anos de aplicações anuais de dejetos.

De acordo com Da Ros et al. (2017), que verificaram efeito no teor de P (uma extração com Mehlich-1) com aplicação sucessiva de água residuária de suinocultura somente até 10 cm de profundidade, a distribuição do P no perfil do solo é variável com a dose, frequência de aplicação e tipo de solo. O aumento de P

em profundidade ocorre à medida que os sítios de adsorção da camada adjacente superior são saturados, assim, no solo com textura muito argilosa, isso foi observado somente com aplicação da maior dose na camada 5-10 cm (GRÁFICO 7D, GRÁFICO 8B). Já no solo com textura franco-argiloarenosa, a aplicação das duas maiores doses aumentou o teor de P dessorvido nesta camada (GRÁFICO 7C, GRÁFICO 8A). Assim, fica evidente que solos com menor teor de argila apresentam menor capacidade de adsorção de P, o que resulta em maior susceptibilidade de deslocamento deste elemento em profundidade com menores doses aplicadas.

A aplicação de doses elevadas de dejetos além de saturar os sítios de adsorção de P, pelo maior fornecimento deste elemento, aumenta o teor de matéria orgânica do solo, conforme constatado nos capítulos 1 e 2 desta dissertação, bem como por Silva et al. (2010), Bhattacharyya et al. (2010), Ghosh et al. (2012) e Maillard et al. (2016). A maior presença da matéria orgânica, devido às substâncias húmicas, ou mesmo ácidos orgânicos de baixo peso molecular, pode bloquear sítios de adsorção de P, aumentando a disponibilidade deste (HUE, 1991; RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001; GUPPY et al., 2005). Além disso, o aumento do teor de matéria orgânica incrementa as cargas negativas, contribuindo para a redução da sorção do P por repulsão (SINGH et al., 2007). De acordo com Barrow e Debnath (2014), a saturação dos sítios de adsorção de P é importante, para reduzir os processos de fixação deste nutriente e aumentar a eficiência do uso do mesmo.

Considerando toda a camada 0-15 cm, o efeito da aplicação de doses de dejetos no P dessorvido diferiu entre os solos (GRÁFICO 7G, GRÁFICO 7H, GRÁFICO 8). No Latossolo franco-argiloarenoso, a aplicação de dejetos influenciou o teor de P até a oitava extração, sendo que, em geral, o uso das duas maiores doses resultou em maior P dessorvido em cada extração (GRÁFICO 7G) e no total de extrações (GRÁFICO 8A). Por outro lado, no Latossolo muito argiloso, o efeito foi observado nas 18 extrações realizadas, e a aplicação de $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de dejetos resultou em maior dessorção de P em cada extração (GRÁFICO 7H), bem como no teor de P dessorvido total (GRÁFICO 8B). A variação do efeito das doses em cada solo provavelmente deve-se a diferença no teor de argila e óxidos presente, que afetam a capacidade de tamponamento e a adsorção de P pelos solos (RHEINHEIMER et al., 2003; FERNÁNDEZ et al., 2008).

A quantidade de P dessorvido diminuiu com o aumento no número de extrações em todas as doses, camadas e solos avaliados (GRÁFICO 7), o que

também foi observado em outros trabalhos (RHEINHEIMER et al., 2003; FERNÁNDEZ et al., 2008; TIECHER et al., 2012). Isso é decorrente do P ser adsorvido com diferentes graus de energia, o que leva a variação na dessortividade. Assim, a primeira extração com RTA retira o P adsorvido com menor energia e à medida que esse se esgota, as quantidades removidas tornam-se pequenas, pois a energia de ligação do fosfato com os coloides aumenta.

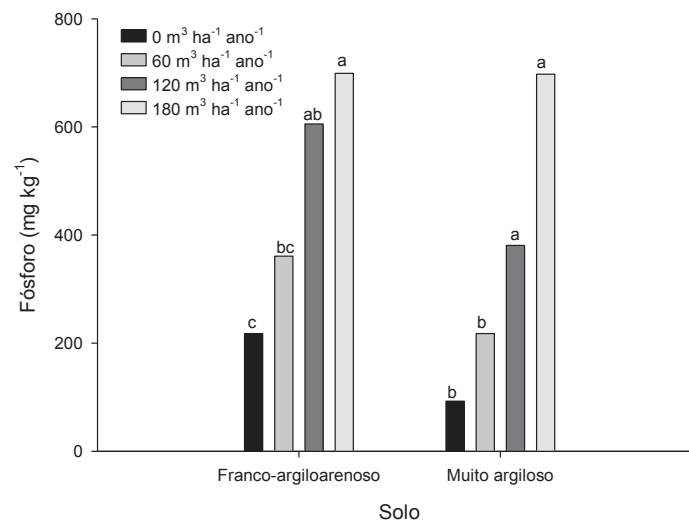
Em relação ao número de extrações realizadas, no Latossolo com textura franco-argiloarenosa foi possível exaurir o teor de P, que inicialmente estava próximo a 100 mg kg^{-1} (camada 0-15 cm), com apenas 10 extrações. Já no Latossolo com textura muito argilosa foram realizadas 18 extrações e os teores de P, que inicialmente estavam próximo a 75 mg kg^{-1} (camada 0-15 cm), estabilizaram em aproximadamente 2 mg kg^{-1} (aproximadamente 3% do inicial), sem exaurir (GRÁFICO 7). Esse comportamento está relacionado à maior capacidade de tamponamento deste solo, corroborando com o observado por Rheinheimer et al. (2003).

Ao considerar o somatório dos teores de P dessorvido em todas as camadas (0-5 + 5-10 + 10-15 cm), somente com a aplicação da maior dose a quantidade de P dessorvido foi semelhante entre os solos (aproximadamente 700 mg kg^{-1}) (GRÁFICO 9). Em relação à aplicação de 0, 60 e $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DLB, os teores observados no Latossolo com menor teor de argila foram 135%, 66% e 59% superiores em relação ao Latossolo muito argiloso, respectivamente, apesar da quantidade de P adicionada, exportada e perdida por erosão ser similar entre os solos. Quanto maior o teor de argila do solo, maior a retenção de P e mais gradativa será a liberação deste, sendo necessárias doses mais elevadas para saturar os sítios de adsorção, uma vez que somente com a aplicação das maiores doses de dejetos foi verificado aumento no P dessorvido do Latossolo muito argiloso (GRÁFICO 9).

Ao verificar o somatório do P dessorvido, obtido em todas as extrações com RTA, em relação a uma extração com este método, é notória a subestimação do mesmo com apenas uma extração (TABELA 16). No Latossolo franco-argiloarenoso, o P extraído na primeira extração com RTA em relação ao total dessorvível (com 12 extrações) variou de 37,8% a 48,1% considerando todas as camadas avaliadas, ou seja, a subestimação do teor de P foi de até aproximadamente 62% (TABELA 16). Por outro lado, no Latossolo muito argiloso, o P extraído na primeira extração em

relação ao total dessorvível (18 extrações) variou de 28,1% a 38,0%, considerando todas as camadas, ou seja, a subestimação do teor de P foi de até aproximadamente 70% (TABELA 16). Assim, no solo com maior teor de argila, a RTA foi em torno de 25% menos efetiva em estimar o P disponível com uma extração, em relação ao solo com menor teor de argila.

GRÁFICO 9 – DESSORÇÃO DE FÓSFORO OBTIDO PELO SOMATÓRIO DOS TEORES DE 12 (LATOSSOLO FRANCO-ARGILOARENOSO) E 18 (LATOSSOLO MUITO ARGILOSO) EXTRAÇÕES SUCESSIVAS COM RESINA TROCADORA DE ÂNIONS NAS CAMADAS 0-5 + 5-10 + 10-15 CM, APÓS APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LONGO PRAZO.



Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O autor (2019).

O aumento da dose de dejetos praticamente não influenciou a subestimação do P com a RTA. Únicas exceções, mas não muito expressivas, foram na camada 10-15 cm no solo franco-argiloarenoso, onde a aplicação das maiores doses subestimou menos, e na camada superficial (0-5 cm) no solo muito argiloso, que aplicação de qualquer dose de DLB subestimou mais o teor de P na primeira extração (TABELA 16).

Da mesma forma, Rheinheimer, Anghinoni e Kaminski (2000), utilizando dez extrações sucessivas com RTA, verificaram subestimação de 63% do P lábil de um solo com textura muito argilosa (680 g kg⁻¹ de argila). Gatiboni et al. (2002), relataram que a primeira extração com RTA de um solo com 640 g kg⁻¹ de argila

estimou apenas 37% do P potencialmente disponível e que foram necessárias sete extrações sucessivas para esgotá-lo completamente, ou seja, a subestimação foi de 63%. Rheinheimer et al. (2003) observaram variação entre os solos na subestimação do P. Em solo com textura franco-argiloarenosa, verificaram subestimação de 42%, 48% e 62%, e, no solo com textura muito argilosa de 60%, 62% e 66%, nas camadas de 0-2,5, 2,5-7,5 e 7,5-17,5 cm, respectivamente. Os autores constataram que a taxa de dessorção constante aumentou com o decréscimo do teor de argila e óxido de ferro dos solos, evidenciando que a dessortividade do P foi maior nos solos mais arenosos.

TABELA 16 – TEOR DE FÓSFORO DESSORVIDO COM UMA EXTRAÇÃO (P1) E TEOR DE FÓSFORO DESSORVIDO TOTAL (Pt) COM 12 E 18 EXTRAÇÕES SUCESSIVAS COM RESINA TROCADORA DE ÂNIONS NOS LATOSSOLOS COM TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA E MUITO ARGILOSA, RESPECTIVAMENTE, APÓS APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL, EM LONGO PRAZO.

Textura franco-argiloarenosa												
Dose	0-5 cm			5-10 cm			10-15 cm			0-15 cm		
	P1	Pt	% ^{(1)*}	P1	Pt	%	P1	Pt	%	P1	Pt	%
	mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		
0	33,9	78,5	43,3a	23,6	59,1	39,9a	32,9	80,2	41,0b	30,2	72,7	41,5a
60	70,0	167,0	41,9a	37,1	88,2	42,1a	40,3	106,8	37,8b	49,2	120,7	40,7a
120	104,3	246,6	42,3a	78,7	180,1	43,7a	80,1	181,3	44,2ab	87,7	202,7	43,3a
180	132,4	331,2	40,0a	97,5	222,8	43,7a	69,8	146,1	48,1a	99,9	233,4	42,8a
Textura muito argilosa												
Dose	0-5 cm			5-10 cm			10-15 cm			0-15 cm		
	P1	Pt	%	P1	Pt	%	P1	Pt	%	P1	Pt	%
	mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		
0	14,0	36,8	38,0a	11,5	40,9	28,1a	9,2	24,2	38,3a	11,6	33,9	34,1a
60	42,1	136,2	30,9b	20,7	69,1	30,0a	10,1	33,7	30,0a	24,3	79,6	30,6a
120	85,1	267,6	31,8b	26,2	75,4	34,7a	21,4	62,9	34,0a	44,2	135,3	32,7a
180	160,0	532,1	30,1b	52,6	174,1	30,2a	10,8	28,9	32,6a	74,5	245,0	30,4a

⁽¹⁾ Porcentagem de P dessorvido na primeira extração.

*: Médias seguidas de letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O autor (2019).

4.5.2 FÓSFORO RECUPERADO

A quantidade de P aplicada com a maior dose de DLB (180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) foi elevada, 1.474,8 e 1.463,4 kg ha⁻¹ nos solos com textura franco-argiloarenosa (TABELA 17) e muito argilosa (TABELA 18), respectivamente. Destes, 289,5 e 298,5 kg ha⁻¹ foram exportados, representando aproximadamente 20% do total adicionado. Nas parcelas em que não foi utilizado DLB, a quantidade aplicada deste nutriente foi

“baixa”, pois foi realizada somente adubação mineral, sendo 458,0 kg ha⁻¹ no Latossolo franco-argiloarenoso (TABELA 17) e 405,0 kg ha⁻¹ no Latossolo muito argiloso (TABELA 18). Destes, 213,8 e 218,6 kg ha⁻¹ foram exportados, representando 47% e 54% do total adicionado, respectivamente. O P exportado nas parcelas com as doses intermediárias de dejetos representaram 32% e 24% e, 34% e 25%, para as doses 60 e 120 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, nos solos com textura franco-argiloarenosa e muito argilosa, respectivamente.

TABELA 17 – FÓSFORO RECUPERADO EM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (TEXTURA FRANCO-ARGILOARENOSA) APÓS NOVE ANOS E QUATRO MESES DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL.

Dose (1)	P adicionado ⁽²⁾	P exp. ⁽³⁾	Erosão ⁽⁴⁾	P potencialmente disponível ⁽⁵⁾				P recuperado ⁽⁶⁾
				kg ha ⁻¹				
				0-5	5-10	10-15	0-15	
0	458,0	213,8	0,80	53,4	44,9	62,1	160,4	92,5 a
60	797,2	256,1	0,65	113,6	67,0	82,8	263,4	64,9 b
120	1.136,3	278,5	0,61	167,7	136,8	140,5	445,1	63,6 b
180	1.474,8	289,5	0,63	225,2	169,4	113,2	507,8	51,1 b

(1) Dose de dejetos líquidos bovinos (DLB) aplicada anualmente (m³ ha⁻¹ ano⁻¹). (2) Fósforo (P) adicionado via adubação mineral e DLB nas 19 safras (cinco de soja, cinco de milho, quatro de trigo (uma foi perdida) e cinco de aveia preta). (3) P exportado pelos 13 cultivos durante a condução do experimento (soja + milho + trigo). (4) P perdido por erosão na área durante o experimento. (5) P potencialmente disponível = P obtido em extrações sucessivas com resina em membrana. (6) P recuperado da camada 0-15 cm = P adicionado - (P adicionado - P exportado - P erodido - P potencialmente disponível da camada 0-15 cm). (7) % de P recuperado = P recuperado x 100 / P adicionado.

*: Médias seguidas de letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O autor (2019).

Rheinheimer, Anghinoni e Kaminski (2000) verificaram exportação de 31% quando o total de P adicionado foi de 552 kg ha⁻¹ e de 27% com aplicação de 792 kg ha⁻¹ de P. Salienta-se que a produtividade média obtida no trabalho conduzido por estes autores foi muito baixa, 1.450, 2.600 e 4.520 kg ha⁻¹ para trigo, soja e milho, respectivamente, o que reduz a quantidade exportada. Tiecher et al. (2012) verificaram exportação de 40% quando o total adicionado de P foi de 660 kg ha⁻¹.

A perda por erosão foi muito baixa, representando 0,17%, 0,08%, 0,05% e 0,04% do total aplicado no Latossolo com textura franco-argiloarenosa e 0,18%, 0,04%, 0,02% e 0,02% do total aplicado no Latossolo com textura muito argilosa, com as doses 0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. A baixa perda por

erosão é devido à adoção do sistema de plantio direto há mais de 25 anos e condução de forma adequada. Guardini et al. (2012), da mesma forma, destacaram baixas taxas de perdas de P por erosão em áreas de plantio direto. Além disso, a aplicação de dejetos reduz as perdas deste elemento por erosão, devido a melhoria na estrutura do solo, conforme observado por Ceretta et al. (2010a) que trabalharam com dejetos líquidos suínos.

TABELA 18 - FÓSFORO RECUPERADO EM LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico (TEXTURA MUITO ARGILOSA) APÓS OITO ANOS E DEZ MESES DE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO, ADICIONAL A ADUBAÇÃO MINERAL.

Dose (1)	P adicionado ⁽²⁾	P exp. ⁽³⁾	Erosão ⁽⁴⁾	P potencialmente disponível ⁽⁵⁾				P recuperado ⁽⁶⁾
				kg ha ⁻¹				
				0-5	5-10	10-15	0-15	
0	405,0	218,6	0,75	16,3	20,6	13,7	50,6	77,6 a
60	757,8	260,7	0,34	60,2	34,8	19,1	114,1	49,8 b
120	1.110,6	282,4	0,24	118,3	38,0	35,7	191,9	42,3 b
180	1.463,4	298,5	0,25	235,2	87,6	16,4	339,3	40,7 b

⁽¹⁾ Dose de dejetos líquidos bovinos (DLB) aplicado anualmente (m³ ha⁻¹ ano⁻¹). ⁽²⁾ Fósforo (P) adicionado via adubação mineral e DLB nas 18 safras (cinco de soja, quatro de milho, quatro de trigo e cinco de aveia preta). ⁽³⁾ P exportado pelos 13 cultivos durante a condução do experimento (soja + milho + trigo). ⁽⁴⁾ P perdido por erosão na área durante o experimento. ⁽⁵⁾ P potencialmente disponível = P obtido em extrações sucessivas com resina em membrana. ⁽⁶⁾ P recuperado da camada 0-15 cm = P adicionado – (P adicionado - P exportado - P erodido - P potencialmente disponível da camada 0-15 cm). ⁽⁷⁾ % de P recuperado = P recuperado x 100 / P adicionado.

*: Médias seguidas de letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O autor (2019).

No Latossolo com textura franco-argiloarenosa, a maior quantidade de P potencialmente disponível foi observada na camada superficial (0-5 cm), que representou 11,6%, 14,3%, 14,8% e 15,3% do P aplicado, para as doses 0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLB, respectivamente. Por outro lado, na camada 10-15 cm, a aplicação da maior dose resultou em menor P potencialmente disponível, que representou apenas 7,7% do P adicionado, enquanto o P observado na dose 0 resultou em 13,5% do P aplicado.

No Latossolo com textura muito argilosa, a maior quantidade de P potencialmente disponível também foi verificada na camada superficial, que representou 4,0%, 7,9%, 10,6% e 16,1% do P aplicado com 0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DLB, respectivamente. Da mesma forma que observado no Latossolo franco-argiloarenoso, na camada 10-15 cm, a aplicação da maior dose resultou em

menor quantidade de P potencialmente disponível, que representou apenas 1,1% do P adicionado, enquanto com a não aplicação de dejetos representou 3,4% do P adicionado.

A maior quantidade de P potencialmente disponível observado em superfície é decorrente da aplicação do dejetos em superfície e sem incorporação, associado à elevada capacidade de adsorção de P pelo solo. O solo argiloso possui alta proporção de óxidos de Fe altamente estabilizados, que adsorvem fortemente o P na camada superficial e permite pouca mobilidade de P no perfil do solo (ALAMGIR; MARSCHNER, 2013; TELES et al., 2017). Quando os sítios de adsorção de P mais ávidos vão sendo gradativamente preenchidos, ou seja, saturados, o P pode ser lixiviado pela água, percolando no perfil (OLIVEIRA; PINHEIRO; VEIGA, 2014). No solo com menor teor de argila (Latosolo com textura franco-argiloarenosa) este efeito foi mais pronunciado, pois o P deslocou mais em profundidade. Tiecher et al. (2012) em Latossolo com textura muito argilosa, verificaram que o teor de P potencialmente disponível obtido pelo somatório dos teores de P nas extrações sucessivas com RTA (camada de 0-20 cm) representou em média 23% do total de P adicionado (660 kg ha^{-1}).

A aplicação de qualquer dose de DLB alterou a quantidade de P recuperado, ou seja, a diferença entre a quantidade adicionada, exportada, perdida por erosão e o P obtido com as extrações sucessivas com RTA em ambos os solos analisados (TABELA 17, TABELA 18).

O P recuperado variou de 92% a 51% no solo com textura franco-argiloarenosa e de 78% a 41% no solo com textura muito argilosa. A diferença de recuperação de P entre os solos está relacionada à diferença do P potencialmente disponível (dessorvido), pois a quantidade de P adicionada, exportada e perdida por erosão foi similar entre eles.

Tiecher et al. (2012) verificaram P teoricamente recuperado (potencialmente disponível + exportado) de 63% quando cultivado em sistema plantio direto, em áreas com aplicação de 660 kg ha^{-1} de fertilizante fosfatado. Rheinheimer, Anghinoni e Kaminski (2000) observaram recuperação de 79% a 95% do P adicionado em sistema plantio direto, quando a dose de fertilizante fosfatado aplicado foi de 792 e 552 kg ha^{-1} , respectivamente, no entanto, a perda por erosão estimada por estes autores foi de 40 kg ha^{-1} , superestimando a % de P recuperado.

A menor recuperação de P com o aumento da dose de DLB deve-se a maior quantidade de P adicionada, a qual não foi retornada proporcionalmente nas extrações sucessivas e com a exportação pelas culturas. Provavelmente o P aplicado foi adsorvido ao solo, acumulando-se em formas de menor labilidade. Gatiboni et al. (2008), após 28 aplicações de dejetos líquidos suínos durante cinco anos, verificaram que o P adicionado via dejetos acumulou-se em formas inorgânicas lábeis, moderadamente lábeis e não-lábeis.

Além disso, o uso de dejetos aumenta o teor de matéria orgânica do solo, a qual, devido ao seu caráter aniônico, pode levar a adsorção de P aos compostos húmicos, por via de pontes de cátions (Al, Fe e Ca), que retém o P (NOVAIS; SMYTH, 1999), conforme constatado por Souza et al. (2006). Ainda, o P aplicado pode ter migrado para camadas abaixo de 15 cm, devido à presença de canais preferenciais que são comuns em áreas de plantio direto. Aumento no teor de P em profundidade com a aplicação de dejetos foi observado nos capítulos 1 e 2 desta dissertação, bem como por outros autores (CERETTA et al., 2003; CHOUDHARY et al., 2018). Parham et al. (2002), com aplicação de esterco bovino por muito mais tempo (mais de 70 anos) verificaram recuperação de 32% do P aplicado pelo esterco bovino, e atribuíram este efeito ao deslocamento do P em camadas não avaliadas (abaixo de 30 cm), devido a aplicação por longo prazo.

4.6 CONCLUSÕES

O incremento da dose de dejetos líquidos bovinos (DLB) aplicado em longo prazo, em adição a adubação mineral, aumenta a dessorção de fósforo (P) do solo, de forma mais evidente na camada superficial, apesar de reduzir a recuperação do P aplicado.

A dessorção de P aumenta em profundidade quanto maior a dose de DLB aplicada e menor o teor de argila do solo, em solos com aplicações sucessivas de DLB, adicional a adubação mineral, por longo prazo.

4.7 REFERÊNCIAS

ABBOUD, F. Y. **Mobilidade de nutrientes no perfil do solo em plantio direto com aplicação de dejetos líquidos bovinos em longo prazo.** 2016. 64f. Dissertação

(Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

ABDALA, D. B.; GHOSH, A. K.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; VENEGAS, V. H. A. Phosphorus saturation of a tropical soil and related P leaching caused by poultry litter addition. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 162, p. 15-23, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.08.004>. Acesso em: 23 dez. 2019.

ABEDI, T.; ALEMZADEH, A.; KAZEMEINI, A. Effect of organic and inorganic fertilizers on grain yield and protein banding pattern of wheat. **Australian Journal of Crop Science**, [S.l.], v. 4, n. 6, p. 384-389, 2010.

ALAMGIR, M. D.; MARSCHNER, P. Changes in phosphorus pools in three soils upon addition of legume residues differing in carbon/phosphorus ratio. **Soil Research**, [S.l.], v. 51, n. 6, p. 484–493, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/SR12378>. Acesso em: 18 dez. 2019.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.l.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ANTELO, J.; ARCE, F.; AVENA, M.; FIOL, S.; LÓPEZ, R.; MACÍAS, F. Adsorption of a soil humic acid at the surface of goethite and its competitive interaction with phosphate. **Geoderma**, [S.l.], v. 138, p. 12-19, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.10.011>. Acesso em: 09 dez. 2019.

BAGHDADI, A.; HALIM, R. A.; GHASEMZADEH, A.; RAMLAN, M. F.; SAKIMIN, S. Z. Impact of organic and inorganic fertilizers on the yield and quality of silage corn intercropped with soybean. **Peer Journal**, [S.l.], v. 6, p. 2-26, 2018. Disponível em: [10.7717/peerj.5280](https://doi.org/10.7717/peerj.5280). Acesso em: 28 nov. 2019.

BARCELLOS, M.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V.; SILVA, J. C. P. M.; BARBOSA, J.Z. Atributos químicos de Latossolo sob plantio direto adubado com esterco de bovinos e fertilizantes minerais. **Communicata Scientiae**, [S.l.], v. 6, n. 3, p. 263-273, 2015. Disponível em: [10.14295/CS.v6i3.527](https://doi.org/10.14295/CS.v6i3.527). Acesso em: 28 nov. 2019.

BARROW, N. J.; BOLLAND, M. D. A.; ALLEN, D. G. Effect of addition of superphosphate on sorption of phosphate. **Australian Journal of Soil Research**, [S.l.], v. 36, n. 3, p. 359-372, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/S97110>. Acesso em: 09 dez. 2019.

BARROW, N. J.; DEBNATH, A. Effect of phosphate status on the sorption and desorption properties of some soils of northern India. **Plant and Soil**, [S.l.], v. 378, p. 383-395, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2042-8>. Acesso em: 18 dez. 2019.

BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A.; RHEINHEIMER, D. S. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 32, n. 6, p. 2525-2532, 2008.

BHATTACHARYYA, R.; PRAKASH, V.; KUNDU, S.; SRIVASTVA, A. K.; GUPTA, H. S.; MITRA, S. Long term effects of fertilization on carbon and nitrogen sequestration and aggregate associated carbon and nitrogen in the Indian sub-Himalayas. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [S.l.], v. 86, p. 1-16, 2010. Disponível em: 10.1007/s10705-009-9270-y. Acesso em: 28 nov. 2019.

BOLLAND, M. D. A.; GILKES, R. J.; BRENNAN, R. F.; ALLEN, D. G. Comparison of seven phosphorus sorption indices. **Australian Journal of Soil Research**, [S.l.], v. 34, n. 1, p. 81-89, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/SR9960081>. Acesso em: 09 dez. 2019.

CAMÊLO, D. L.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; CORRÊA, M. M.; LIMA, V. C. Sequential extraction of phosphorus by Mehlich-1 and Ion Exchange Resin from B horizons of Ferric and Perferric Latosols (Oxisols). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1058-1067, 2015.

CAMPELLO, M. R.; NOVAIS, R. F.; FERNANDEZ, I.E.R.; FONTES, M. P. F.; BARROS, N. F. Avaliação da reversibilidade de fósforo não lábil para lábil em solos com diferentes características. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 157-165, 1994.

CASTOLDI, N.; STEIN, A.; BECHINI, L. Agri-environmental assessment of extractable soil phosphorus at the regional scale. **NJAS: Wageningen journal of life sciences**, v. 56, n. 4, p. 325-343, 2009. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(09\)80003-1](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(09)80003-1). Acesso em: 09 dez. 2019.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; VIEIRA, F. C. B.; HERBES, M. G.; MOREIRA, I. C. L.; BERWANGER, A. L. Dejeito líquido de suínos: I - perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p.1296-1304, 2005.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 729-735, 2003.

CERETTA, C. A.; GIROTTO, E. LOURENZI, C. R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R. C. B.; BRUNETTO, G. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 139, p. 689-699, 2010a. Disponível em: 10.1016/j.agee.2010.10.016. Acesso em: 10 dez. 2019.

CERETTA, C. A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; GATIBONI, L. C.; LOURENZI, C. R.; TIECHER, T. L.; DE CONTI, L.; TRENTIN, G.; MIOTTO, A. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.] v. 45, n. 6, p. 593- 602, 2010b.

CHIVENGE, P.; VANLAUWE, B; SIX, J. Does the combined application of organic and mineral nutrient sources influence maize productivity? A meta-analysis. **Plant and Soil**, [S.I.], v. 342, p. 1-30, 2011. Disponível em: [10.1007/s11104-010-0626-5](https://doi.org/10.1007/s11104-010-0626-5). Acesso em: 28 nov. 2019.

CHOUHARY, M.; PANDAY, S. C.; MEENA, V. S.; SINGH, S.; YADAV, R. P.; MAHANTA, D.; MONDALL, T.; MISHARA, P. K.; BISHT, J. K.; PATTANAYAK, A. Long-term effects of organic manure and inorganic fertilization on sustainability and chemical soil quality indicators of soybean-wheat cropping system in the Indian mid-Himalayas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.I.], v. 257, p. 38-46, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.029>. Acesso em: 20 nov. 2019.

CORDELL, D.; WHITE, S. Life's Bottleneck: Sustaining the World's Phosphorus for a Food Secure Future. **Annual Review Environment and Resources**, [S.I.], v. 39, n. 1, p. 161-188, 2014. Disponível em: [10.1146 / ano-ambiente-010213-113300](https://doi.org/10.1146/ano-ambiente-010213-113300). Acesso em: 18 dez. 2019.

DA ROS, C. O.; SILVA, V. R.; SILVESTRIN, T. B.; SILVA, R. F.; PESSOTTO, P. P. Disponibilidade de nutrientes e acidez do solo após aplicações sucessivas de água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, [S.I.], v. 1, n. 1, p. 35-44, 2017.

ELSER, J.; BENNETT, E. Phosphorus cycle: a broken biogeochemical cycle. **Nature**, [S.I.], v. 478, p. 2-31, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2018.

FERNÁNDEZ, I. E. R.; NOVAIS, R. F.; NUNES, F. N.; KER, J. C. Reversibilidade de fósforo não-lábil em solos submetidos à redução microbiana e química: II - extrações sucessivas do fósforo pela resina de troca aniônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.I.], v. 32, n. 6, p. 2319-2330, 2008.

FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, [S.I.], v. 72, n. 1-2, p. 37-51, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(96\)00010-9](https://doi.org/10.1016/0016-7061(96)00010-9). Acesso em: 24 dez. 2019.

GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1753-1761, 2008.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 247 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; SAGGIN, A. Quantificação do fósforo disponível por extrações sucessivas com diferentes extratores em

Latossolo Vermelho Distroférico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 26, n. 4, p. 1023-1029, 2002.

GHOSH, P. K.; VENKATESH, M. S.; HAZRA, K. K.; KUMAR, N. Long-term effect of pulses and nutrient management on soil organic carbon dynamics and sustainability on an Inceptisol of Indo Gangetic plains of India. **Experimental Agriculture**, [S.l.], v. 48, p. 473-387, 2012. Disponível em: 10.1017/S0014479712000130. Acesso em: 20 nov. 2019.

GIROTTI, E.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; RHEINHEIMER, D. S.; SILVA, L. S.; LOURENSINI, F.; LOURENZI, C. R.; VIEIRA, R. C. B.; SCHMATZ, R. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 34, n. 3, p. 955-965, 2010.

GUARDINI, R.; COMIN, J. J.; SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; TIECHER, T.; SCHMITT, D.; BENDER, M. A.; FILHO, P. B.; OLIVEIRA, P. A. V.; BRUNETTO, G. Phosphorus accumulation and pollution potential in a Hapludult fertilized with pig manure. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1333-1342, 2012.

GUPPY, C. N.; MENZIES, N. W.; MOODY, P. W.; BLAMEY, F. P. C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**, [S.l.], v. 43, n. 2, p. 189-202, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/SR04049>. Acesso em: 09 dez. 2019.

HAO, X.; CHANG, C. Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 94, p. 89-103, 2003.

HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B.; CHAUHAN, B. S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of America Journal Abstract**, [S.l.], v. 46, p. 970-976, 1982. Disponível em: 10.2136/sssaj1982.03615995004600050017x. Acesso em: 09 dez. 2019.

HUE, N. V. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, [S.l.], v. 152, n. 6, p. 463-471, 1991. Disponível em: 10.1097 / 00010694-199112000-00009. Acesso em: 18 dez. 2019.

KAPKIYAI, J. J.; KARANJA, N. K.; QURESHI, J. N.; SMITHSON, P. C.; WOOMER, P. L. Soil organic matter and nutrient dynamics in a Kenyan Nitisol under long-term fertilizer and organic input management. **Soil Biology and Biochemistry**, [S.l.], v. 31, p. 1773-1782, 1999.

MACDONALD, G. K.; BENNETT, E. M.; POTTER, P.A.; RAMANKUTTY, N.; Agronomic phosphorus imbalances across the world's croplands. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [S.l.], v. 108, n. 7, p. 3086-3091, 2011. Disponível em: 10.1073/pnas.1010808108. Acesso em: 09 dez. 2019.

MAILLARD, É.; ANGERS, D. A.; CHANTIGNY, M.; LAFOND, J.; PAGEAU, D.; ROCHETTE, P.; LÉVESQUE, G.; LECLERC, M-L.; PARENT L,-É. Greater accumulation of soil organic carbon after liquid dairy manure application under cereal-forage rotation than cereal monoculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 233, p. 171-178, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.01>. Acesso em: 05 nov. 2019.

MAMIA, A.; AMIN, A. K. M. R.; ROY, T. S.; FARUK, G. M. Influence of inorganic and organic fertilizers on growth and yield of soybean. **Bangladesh Agronomy Journal**, [S.l.], v. 21, p. 77-81, 2018.

MCKEAN, J.; WARREN, G.P. Determination of phosphate desorption characteristics in soils using successive resin extractions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 27, p. 2397-2417, 1996.

MELLEK, J. E.; DIECKOW, J.; SILVA, V. L.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F. M.; SOUZA, J. L. M. Dairy liquid manure and no-tillage: physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambissol of Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, [S.l.], v. 110, p. 69-76, 2010. Disponível em: [doi:10.1016/j.still.2010.06.005](https://doi.org/10.1016/j.still.2010.06.005). Acesso em: 28 nov. 2019.

MIHAILESCU, E., MURPHY, P. N. C., RYAN, W., CASEY, I. A., HUMPHREYS, J. Phosphorus balance and use efficiency on 21 intensive grass-based dairy farms in the South of Ireland. **The Journal of Agricultural Science**, [S.l.], v. 153, p. 520-537, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0021859614000641>. Acesso em: 09 dez. 2019.

MORI, H. F. **Perdas de solo, água e nutrientes em sistema de plantio direto sob aplicação de dejetos líquidos de bovinos e chuva simulada**. 2008. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

NEPAR - Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999.

OLIVEIRA, D. A.; PINHEIRO, A.; VEIGA, M. Effects of pig slurry application on soil physical and chemical properties and glyphosate mobility. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1421-1431, 2014.

PARHAM, J. A.; DENG, S. P.; RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V. Long-term cattle manure application in soil I. Effect on soil phosphorus levels, microbial biomass C, and dehydrogenase and phosphatase activities. **Biologia e Fertilidade dos Solos**, [S.l.], v. 35, n. 5, p. 328-337, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0476-2>. Acesso em: 04 jan.2020.

PIOVESAN, R. P.; FAVARETTO, N.; VOLNEI, P.; MOTTA, A. C.; REISSMANN, C. B. Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 757-766, 2009.

PIZZEGHELLO, D.; BERTI, A.; NARDI, S.; MORARI, F. Phosphorus forms and P-sorption properties in three alkaline soils after long-term mineral and manure applications in north-eastern Italy. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 141, p. 58-66, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.011>. Acesso em: 09 dez. 2019.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2011. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 05 nov. 2019.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L. C. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solo provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1053-1059, 2003.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 151-160, 2001.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 24, n. 2, p. 345-354, 2000.

RODRIGUES, M.; PAVINATO, P. S.; WITHERS, P. J. A.; TELES, A. P. B.; HERRERA, W. F. B. Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical Oxisols of the Brazilian savanna. **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 542, p. 1050-1061, 2016. Disponível em: [10.1016 / j.scitotenv.2015.08.118](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.118). Acesso em: 18 dez. 2019.

ROY, E. D.; RICHARDS, P. D.; MARTINELLI, L. A.; COLETTA, L. D.; LINS, S. R. M.; VAZQUEZ, F. F.; WILLING, E.; SPERA, S. A.; VANWEY, L. K.; PORDER, S. The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. **Nature Plants**, [S.l.], v. 2, n. 16043, p. 1-6, 2016. Disponível em: [10.1038/nplants.2016.43](https://doi.org/10.1038/nplants.2016.43). Acesso em: 18 dez. 2019.

SARTOR, L. R.; ASSMANN, A. L.; ASSMANN, T. S.; BIGOLIN, P. E.; MIYAZAWA, M.; CARVALHO, P. C. F. Effect of swine residue rates on corn, common bean, soybean and wheat yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 661-669, 2012.

SBCS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004.

SILVA, J. C. P. M.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V.; VELOSO, C. M.; FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A. S.; SILVA, L. F. C. Esterco de gado leiteiro associado a adubação mineral e sua influência na fertilidade de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 34, p. 453-463, 2010.

SILVA, F. C.; RAIJ, B. V. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 34, n. 2, p. 267-288, 1999.

SILVEIRA, F. de M. **Perda de solo, água e nutrientes com aplicação de dejetos líquido bovino em Latossolo franco argilo arenoso sob plantio direto e chuva natural**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

SINGH, M.; REDDY, K. S.; SINGH, V. P.; RUPA, T. R. Phosphorus availability to rice (*Oriza sativa* L.) – wheat (*Triticum aestivum* L.) in a Vertisol after eight years of inorganic and organic fertilizer additions. **Bioresource Technology**, [S.l.], v. 98, p. 1474-1481, 2007. Disponível em: 10.1016/j.biortech.2006.02.045. Acesso em: 05 nov. 2019.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 975-983, 2006.

SYSTAT SOFTWARE. **Sigmaplot for Windows Version 11.0**. San José: Systat Software Inc., 2010. Disponível em: <https://systatsoftware.com/products/sigmaplot/>. Acesso em: 11 dez. 2019.

TELES, A. P. B.; RODRIGUES, M.; HERRERA, B.; SOLTANGHEISI, A.; SARTOR, L. R.; WITHERS, P. J. A.; PAVINATO, P. S. Do cover crops change the lability of phosphorus in a clayey subtropical soil under different phosphate fertilizers? **Soil Use and Management**, [S.l.], v. 31, n. 1, p. 34-44, 2017. Disponível em: 10.1111/sum.12327. Acesso em: 18 dez. 2019.

TIECHER, T.; SANTOS, D. R.; KAMINSKI, J.; CALEGARI, A. Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 271-281, 2012.

TIMOFIECSYK, A. **Perdas de água, solo e nutrientes com aplicação de dejetos líquido bovino sob plantio direto e chuva natural em Latossolo Bruno**. 2009. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

VAN DER BOM, F. J. T.; MCLAREN, T. I.; DOOLETTE, A. L.; MAGID, J.; FROSSARD, E.; OBERSON, A.; JENSEN, L. S. Influence of long-term phosphorus fertilisation history on the availability and chemical nature of soil phosphorus. **Geoderma**, [S.l.], v. 355, p. 1139091-113909, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113909>. Acesso em: 09 dez. 2019.

WITHERS, P. J. A.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; CARVALHO, T. S.; GUILHERME, L. R. G.; BENITES, V. M.; GATIBONI, L. C.; SOUSA, D. M. G.;

NUNES, R. S.; ROSOLEM, C. A.; ANDREOTE, F. D.; OLIVEIRA Jr. A.; COUTINHO, E. L. M.; PAVINATO, P. S. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, [S.I.], v. 8, p. 25-37, 2018. Disponível em: [10.1038/s41598-018-20887-z](https://doi.org/10.1038/s41598-018-20887-z). Acesso em: 18 dez. 2019.

WITHERS, P. J. A.; SYLVESTER-BRADLEY, R.; JONES, D. L.; HEALEY, J. R.; TALBOYS, P. J. Feed the crop not the soil: rethinking phosphorus management in the food chain. **Environmental Science and Technology**, [S.I.], v. 48, p. 6523-6530, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es501670j>. Acesso em: 09 dez. 2019.

ZHANG, T.; HE, X.; DENG, Y.; TSANG, D. C. W.; JIANG, R.; BECKER, G.C.; KRUSE, A. Phosphorus recovered from digestate by hydrothermal processes with struvite crystallization and its potential as a fertilizer. **Science of The Total Environment**, [S.L.], v. 698, p. 1342401-134240, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134240>. Acesso em: 09 dez. 2019.

5 CONCLUSÃO GERAL

A aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de dejetos líquidos bovinos (DLB) em média, por longo prazo, adicional à adubação mineral, resulta em obtenção de máxima produtividade de grãos na rotação aveia preta-milho-trigo-soja.

O DLB aplicado por longo prazo, em adição à adubação mineral, melhora as variáveis químicas do solo e, mesmo aplicado na superfície do solo, tem efeito em camadas profundas. E, as variáveis que mais influenciam a produtividade das culturas na rotação aveia preta-milho-trigo-soja, são o aumento das bases trocáveis no Latossolo com textura muito argilosa, do pH no Latossolo com textura franco-argiloarenosa, e a redução da acidez potencial nos dois solos.

O incremento da dose de DLB, adicional à adubação mineral, aumenta a dessorção de fósforo do solo, de forma mais evidente em superfície e em solo com menor teor de argila, apesar de reduzir a recuperação do fósforo aplicado.

6 REFERÊNCIAS

- ABBOUD, F. Y.; FAVARETTO, N.; MOTTA, A. C. V.; BARTH, G.; GOULART, G. D. Phosphorus mobility and degree of saturation in oxisol under no-tillage after long-term dairy liquid manure application. **Soil and Tillage Research**, [S.l.], v. 177, p. 45-53. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.11.014>. Acesso em: 05 nov. 2019.
- ABBOUD, F.Y. **Mobilidade de nutrientes no perfil do solo em plantio direto com aplicação de dejetos líquido bovino em longo prazo**. 2016. 64f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
- ABDALA, D. B.; GHOSH, A. K.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; VENEGAS, V. H. A. Phosphorus saturation of a tropical soil and related P leaching caused by poultry litter addition. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 162, p. 15-23, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.08.004>. Acesso em: 23 dez. 2019.
- ABEDI, T.; ALEMZADEH, A.; KAZEMEINI, A. Effect of organic and inorganic fertilizers on grain yield and protein banding pattern of wheat. **Australian Journal of Crop Science**, [S.l.], v. 4, n. 6, p. 384-389, 2010.
- ALADE, A. A.; AZEEZ, J. O.; AJIBOYE, G. A.; ADEWUYI, S.; OLOWOBOKO, T. B.; HUSSEIN, S. M. Influence of animal manure mixture on soil nitrogen indices and maize growth. **Russian Agricultural Sciences**, [S.l.], v. 45, n.2, p. 175-185, 2019.
- ALAMGIR, M. D.; MARSCHNER, P. Changes in phosphorus pools in three soils upon addition of legume residues differing in carbon/ phosphorus ratio. **Soil Research**, [S.l.], v. 51, n. 6, p. 484–493, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/SR12378>. Acesso em: 18 dez. 2019.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.l.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ANTELO, J.; ARCE, F.; AVENA, M.; FIOL, S.; LÓPEZ, R.; MACÍAS, F. Adsorption of a soil humic acid at the surface of goethite and its competitive interaction with phosphate. **Geoderma**, [S.l.], v. 138, p. 12-19, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.10.011>. Acesso em: 09 dez. 2019.
- BAGHDADI, A.; HALIM, R. A.; GHASEMZADEH, A.; RAMLAN, M. F.; SAKIMIN, S. Z. Impact of organic and inorganic fertilizers on the yield and quality of silage corn intercropped with soybean. **Peer Journal**, [S.l.], v. 6, p. 2-26, 2018. Disponível em: [10.7717/peerj.5280](https://doi.org/10.7717/peerj.5280). Acesso em: 06 nov. 2019.
- BARCELLOS, M.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V.; SILVA, J. C. P. M.; BARBOSA, J.Z. Atributos químicos de Latossolo sob plantio direto adubado com esterco de

bovinos e fertilizantes minerais. **Communicata Scientiae**, [S.l.], v. 6, n. 3, p. 263-273, 2015. Disponível em: [10.14295/CS.v6i3.527](https://doi.org/10.14295/CS.v6i3.527). Acesso em: 05 nov. 2019.

BARROW, N. J.; BOLLAND, M. D. A.; ALLEN, D. G. Effect of addition of superphosphate on sorption of phosphate. **Australian Journal of Soil Research**, [S.l.], v. 36, n. 3, p. 359-372, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/S97110>. Acesso em: 09 dez. 2019.

BARROW, N. J.; DEBNATH, A. Effect of phosphate status on the sorption and desorption properties of some soils of northern India. **Plant and Soil**, [S.l.], v. 378, p. 383-395, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2042-8>. Acesso em: 18 dez. 2019.

BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A.; RHEINHEIMER, D. S. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 32, n. 6, p. 2525-2532, 2008.

BHATTACHARYYA, R.; PRAKASH, V.; KUNDU, S.; SRIVASTVA, A. K.; GUPTA, H. S.; MITRA, S. Long term effects of fertilization on carbon and nitrogen sequestration and aggregate associated carbon and nitrogen in the Indian sub-Himalayas. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [S.l.], v. 86, p. 1-16, 2010. Disponível em: [10.1007/s10705-009-9270-y](https://doi.org/10.1007/s10705-009-9270-y). Acesso em: 05 nov. 2019.

BHATTACHARYYA, R.; KUNDU, S.; SRIVASTVA, A. K.; GUPTA, H. S.; PRAKASH, V.; BHATT, J. C. Long-term fertilization effects on soil organic carbon pools in a sandy loam soil of the Indian sub-Himalayas. **Plant and Soil**, [S.l.], v. 241, p. 109-124, 2011. Disponível em: [10.1007/s11104-010-0627-4](https://doi.org/10.1007/s11104-010-0627-4). Acesso em: 20 nov. 2019.

BHATTACHARYYA, R.; PANDEY, S. C.; BISHT, J. K.; BHATT, J. C.; GUPTA, H. S.; TUTI, M. D.; MAHANTA, D.; MINA, B. L.; SINGH, R. D.; CHANDRA, S.; SRIVASTVA, A. K.; KUNDU, S. Tillage and irrigation effects on soil aggregation and carbon pools in the Indian Sub-Himalayas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, p. 101-112, 2013.

BHATT, B.; CHANDRA, R.; RAM, S.; PAREEK, N. Long-term effects of fertilization and manuring on productivity and soil biological properties under rice (*Oryza sativa*) – wheat (*Triticum aestivum*) sequence in Mollisols. **Archives of agronomy and soil science**, [S.l.], v. 62, p. 1109-1122, 2016.

BISON PINTO, M. A.; FABRIS, C.; BASSO, C. J.; SANTI, A. L.; GIROTTO, E. Aplicação de dejetos líquidos de suínos e manejo do solo na sucessão aveia/milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 11, n. 2, p. 205-212, 2014.

BOLLAND, M. D. A.; GILKES, R. J.; BRENNAN, R. F.; ALLEN, D. G. Comparison of seven phosphorus sorption indices. **Australian Journal of Soil Research**, [S.l.], v. 34, n. 1, p. 81-89, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/SR9960081>. Acesso em: 09 dez. 2019.

BORGO, J. **Aplicações sucessivas de dejetos líquidos de bovinos em solos sob plantio direto: fertilidade do solo, produtividade e absorção de nutrientes em**

milho. 2011. 82f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

BRAR, B. S.; SINGH, J. SINGH, G.; KAUR, G. Effects of long term application of inorganic and organic fertilizers on soil organic carbon and physical properties in maize–wheat rotation. **Agronomy**, [S.l.], v. 5, p. 220-238, 2015. Disponível em: doi:10.3390/agronomy5020220. Acesso em: 05 nov. 2019.

BRUNETTO, G., COMIN, J. J., SCHMITT, D. E., GUARDINI, R., MEZZARI, C. P., OLIVEIRA, B. S., MORAES, M. P., GATIBONI, L. C., LOVATO, P. E.; CERETTA, C. A. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy typic Hapludalf after medium-term pig-slurry and deep-litter application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 36, p. 1620-1628, 2012.

CAMÊLO, D. L.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; CORRÊA, M. M.; LIMA, V. C. Sequential extraction of phosphorus by Mehlich-1 and Ion Exchange Resin from B horizons of Ferric and Perferic Latosols (Oxisols). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1058-1067, 2015.

CAMPELLO, M. R.; NOVAIS, R. F.; FERNANDEZ, I.E.R.; FONTES, M. P. F.; BARROS, N. F. Avaliação da reversibilidade de fósforo não lábil para lábil em solos com diferentes características. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 157-165, 1994.

CASSOL, P. C.; COSTA, A. C.; CIPRANDI, O.; PANDOLFO, C. M.; ERNANI, P. R. Disponibilidade de macronutrientes e rendimento de milho em Latossolo fertilizado com dejetos suíno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1911-1923, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000600025>. Acesso em: 20 nov. 2019.

CASTOLDI, N.; STEIN, A.; BECHINI, L. Agri-environmental assessment of extractable soil phosphorus at the regional scale. **NJAS: Wageningen journal of life sciences**, v. 56, n. 4, p. 325-343, 2009. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(09\)80003-1](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(09)80003-1). Acesso em: 09 dez. 2019.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; VIEIRA, F. C. B.; HERBES, M. G.; MOREIRA, I. C. L.; BERWANGER, A. L. Dejetos líquidos de suínos: I - perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1296-1304, 2005.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 729-735, 2003.

CERETTA, C. A.; GIROTTO, E. LOURENZI, C. R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R. C. B.; BRUNETTO, G. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 139, p. 689-699, 2010a. Disponível em: 10.1016/j.agee.2010.10.016. Acesso em: 10 dez. 2019.

CERETTA, C. A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; GATIBONI, L. C.; LOURENZI, C. R.; TIECHER, T. L.; DE CONTI, L.; TRENTIN, G.; MIOTTO, A. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.] v. 45, n. 6, p. 593-602, 2010b.

CHIVENGE, P.; VANLAUWE, B; SIX, J. Does the combined application of organic and mineral nutrient sources influence maize productivity? A meta-analysis. **Plant and Soil**, [S.l.], v. 342, p. 1-30, 2011. Disponível em: [10.1007/s11104-010-0626-5](https://doi.org/10.1007/s11104-010-0626-5). Acesso em: 05 nov. 2019.

CHOUDHARY, M.; PANDAY, S. C.; MEENA, V. S.; SINGH, S.; YADAV, R. P.; MAHANTA, D.; MONDALL, T.; MISHARA, P. K.; BISHT, J. K.; PATTANAYAK, A. Long-term effects of organic manure and inorganic fertilization on sustainability and chemical soil quality indicators of soybean-wheat cropping system in the Indian mid-Himalayas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 257, p. 38-46, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.029>. Acesso em: 20 nov. 2019.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica das safras**. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 20 nov. 2019.

CORDELL, D.; WHITE, S. Life's Bottleneck: Sustaining the World's Phosphorus for a Food Secure Future. **Annual Review Environment and Resources**, [S.l.], v. 39, n. 1, p. 161-188, 2014. Disponível em: [10.1146 / ano-ambiente-010213-113300](https://doi.org/10.1146/ano-ambiente-010213-113300). Acesso em: 18 dez. 2019.

DA ROS, C. O.; SILVA, V. R.; SILVESTRIN, T. B.; SILVA, R. F.; PESSOTTO, P. P. Disponibilidade de nutrientes e acidez do solo após aplicações sucessivas de água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 35-44, 2017.

DEMELASH, N.; BAYU, W.; TESFAYE, S.; ZIADAT, F.; SOMMER, R. Current and residual effects of compost and inorganic fertilizer on wheat and soil chemical properties. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [S.l.], v. 100, p. 357-367, 2014. Disponível em: [10.1007/s10705-014-9654-5](https://doi.org/10.1007/s10705-014-9654-5). Acesso em: 20 nov. 2019.

ELSER, J.; BENNETT, E. Phosphorus cycle: a broken biogeochemical cycle. **Nature**, [S.l.], v. 478, p. 2-31, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 2018.

FERNÁNDEZ, I. E. R.; NOVAIS, R. F.; NUNES, F. N; KER, J. C. Reversibilidade de fósforo não-lábil em solos submetidos à redução microbiana e química: II - extrações sucessivas do fósforo pela resina de troca aniônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 32, n. 6, p. 2319-2330, 2008.

FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, [S.l.], v. 72, n. 1-2, p. 37-51, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(96\)00010-9](https://doi.org/10.1016/0016-7061(96)00010-9). Acesso em: 24 dez. 2019.

GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1753-1761, 2008.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 247 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; SAGGIN, A. Quantificação do fósforo disponível por extrações sucessivas com diferentes extratores em Latossolo Vermelho Distroférico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 26, n. 4, p. 1023-1029, 2002.

GHOSH, B. N.; MEENA, V. S.; ALAM, N. M.; DOGRA, P.; BHATTACHARYYA, R.; SHARMA, N. K.; MISHRA, P. K. Impact of conservation practices on soil aggregation and carbon management index after seven years on maize-wheat cropping system in the Indian Himalayas. **Agricultura, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 216, p. 247-257, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.038>. Acesso em: 20 nov. 2019.

GHOSH, B. N., SINGH, R. D., DADHWAL, K. S. Available organic sources for IPNM in North-western Himalayan states for sustainable crop production. **Indian Farming**, [S.l.], v. 56, p. 10-12. 2006.

GHOSH, P. K.; VENKATESH, M. S.; HAZRA, K. K.; KUMAR, N. Long-term effect of pulses and nutrient management on soil organic carbon dynamics and sustainability on an Inceptisol of Indo Gangetic plains of India. **Experimental Agriculture**, [S.l.], v. 48, p. 473-387, 2012. Disponível em: 10.1017/S0014479712000130. Acesso em: 20 nov. 2019.

GIROTTI, E.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; RHEINHEIMER, D. S.; SILVA, L. S.; LOURENSINI, F.; LOURENZI, C. R.; VIEIRA, R. C. B.; SCHMATZ, R. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 34, n. 3, p. 955-965, 2010.

GUARDINI, R.; COMIN, J. J.; SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; TIECHER, T.; SCHMITT, D.; BENDER, M. A.; FILHO, P. B.; OLIVEIRA, P. A. V.; BRUNETTO, G. Phosphorus accumulation and pollution potential in a Hapludult fertilized with pig manure. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1333-1342, 2012.

GUPPY, C. N.; MENZIES, N. W.; MOODY, P. W.; BLAMEY, F. P. C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review.

Australian Journal of Soil Research, [S.l.], v. 43, n. 2, p. 189-202, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/SR04049>. Acesso em: 09 dez. 2019.

HAFIDI, M.; AMIR, S.; MEDDICH, A.; JOURAIPHY, A.; WINTERTON, P.; GHAROUS, M. E.; DUPONNOIS, R. Impact of applying composted biosolids on wheat growth and yield parameters on a calcimagnesian soil in a semi-arid region. **African Journal of Biotechnology**, [S.l.], v. 11, n. 41, p. 9805-9815, 2012. Disponível em: 10.5897/AJB10.1010. Acesso em: 20 nov. 2019.

HAO, X.; CHANG, C. Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 94, p. 89-103, 2003.

HAO, X. J.; ZHANG, T. Q.; TAN, C. S.; WELACKY, T.; WANG, Y. T.; LAWRENCE, D.; HONG, J. P. Crop yield and phosphorus uptake as affected by phosphorus-based swine manure application under long-term corn-soybean rotation. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [S.l.], v. 103, p. 217-228, 2015. Disponível em: 10.1007/s10705-015-9735-0. Acesso em: 05 nov. 2019.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed.). **Mineral nutrition of higher plants**. London: Elsevier, 2012. p. 135-189.

HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B.; CHAUHAN, B. S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. **Soil Science Society of America Journal Abstract**, [S.l.], v. 46, p. 970-976, 1982. Disponível em: 10.2136/sssaj1982.03615995004600050017x. Acesso em: 09 dez. 2019.

HUE, N. V. Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. **Soil Science**, [S.l.], v. 152, n. 6, p. 463-471, 1991. Disponível em: 10.1097 / 00010694-199112000-00009. Acesso em: 18 dez. 2019.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016.

JUNG, C. F.; JÚNIOR, A. A. M. Produção leiteira no Brasil e características da bovinocultura leiteira no Rio Grande do Sul. **Ágora**, Santa Cruz do Sul, v. 19, n. 1, p. 34-47, 2017.

KAPKIYAI, J. J., KARANJA, N. K., QURESHI, J. N., SMITHSON, P. C.; WOOMER, P. L. Soil organic matter and nutrient dynamics in a Kenyan Nitisol under long-term fertilizer and organic input management. **Soil Biology and Biochemistry**, [S.l.], v. 31, p. 1773-1782, 1999.

KÖRSCHENS, M.; ALBERT, E.; ARMBRUSTER, M.; BARKUSKY, D.; BAUMECKER, M.; BEHLE-SCHALK, L.; BISCHOFF, R.; ČERGAN, Z.; ELLMER, F.; HERBST, F.; HOFFMANN, S.; HOFMAN, B.; KISMANYOKY, T.; KUBAT, J.; KUNZOVA, E.; LOPEZ-FANDO, C.; MERBACH, I.; MERBACH, W.; PARDOR, M. T.; ROGASIK, J.; RÜHLMANN, J.; SPIEGEL, H.; SCHULZ, E.; TAJNSEK, A.; TOTH, Z.; WEGENER, H.; ZORN, W. Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of twenty-first century. **Archives of Agronomy and Soil Science**, [S.l.], v. 59, n. 8, p. 1017-1040, 2013. Disponível em: [10.1080/03650340.2012.704548](https://doi.org/10.1080/03650340.2012.704548). Acesso em: 20 nov. 2019.

KÖRSCHENS, M. The importance of long-term field experiments for soil science and environmental research – a review. **Plant, Soil and Environment**, [S.l.], v. 52, p. 1-8, 2006.

KULHÁNEK, M.; BALÍK, J.; ČERNÝ, J.; VAŠÁK, F.; SHEJBALOVÁ, Š. Influence of long-term fertilizer application on changes of the content of Mehlich-3 estimated soil macronutrients. **Plant, Soil and Environment**, [S.l.], v. 60, n. 4, p. 151-157, 2014.

KUNDU, S.; BHATTACHARYYA, R.; PRAKASH, V.; GUPTA, H. S.; PATHAK, H.; LADHA, J. K. Long-term yield trend and sustainability of rainfed soybean–wheat system through farmyard manure application in a sandy loam soil of the Indian Himalayas. **Biology and Fertility of Soils**, [S.l.], v. 43, p. 271-280, 2007. Disponível em: [10.1007/s00374-006-0102-9](https://doi.org/10.1007/s00374-006-0102-9). Acesso em: 05 nov. 2019.

LI, L.; HAN, X. Changes of soil properties and carbon fractions after long-term application of organic amendments in Mollisols. **Catena**, [S.l.], v. 143, p. 140-144, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.04.007>. Acesso em: 20 nov. 2019.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; TENTIN, G.; GIROTTI, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; BRUNETTO, G. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 35, p. 1827-1836, 2011.

LOURENZI, C. R.; SCHERER, E. E.; CERETTA, C. A.; TIECHER, T. L.; CANCIAN, A.; FERREIRA, P. A. A.; BRUNETTO, G. Atributos químicos de Latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejetos líquidos de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 51, p. 233-242, 2016.

MACDONALD, G. K.; BENNETT, E. M.; POTTER, P.A.; RAMANKUTTY, N.; Agronomic phosphorus imbalances across the world's croplands. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [S.l.], v. 108, n. 7, p. 3086-3091, 2011. Disponível em: [10.1073/pnas.1010808108](https://doi.org/10.1073/pnas.1010808108). Acesso em: 09 dez. 2019.

MAILLARD, É.; ANGERS, D. A.; CHANTIGNY, M.; LAFOND, J.; PAGEAU, D.; ROCHETTE, P.; LÉVESQUE, G.; LECLERC, M-L.; PARENT L,-É. Greater accumulation of soil organic carbon after liquid dairy manure application under cereal-forage rotation than cereal monoculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.I.], v. 233, p. 171-178, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.01>. Acesso em: 05 nov. 2019.

MALTAS, A.; KEBLI, H.; OBERHOLZER, H. R.; WEISSKOPF, P.; SINAJ, S. The effects of organic and mineral fertilizers on carbon sequestration, soil properties, and crop yields from a long-term field experiment under a Swiss conventional farming system. **Land Degradation e Development**, [S.I.], v. 29, p. 926-938, 2018. Disponível em: 10.1002/ldr.2913. Acesso em: 20 nov. 2019.

MAMIA, A.; AMIN, A. K. M. R.; ROY, T. S.; FARUK, G. M. Influence of inorganic and organic fertilizers on growth and yield of soybean. **Bangladesh Agronomy Journal**, [S.I.], v. 21, p. 77-81, 2018.

MARTÍNEZ, E.; DOMINGO, F.; ROSELLÓ, A.; SERRA, J.; BOIXADERA, J.; LLOVERAS, J. The effects of dairy cattle manure and mineral N fertilizer on irrigated maize and soil N and organic C. **European Journal of Agronomy**, [S.I.], v. 83, p. 78-85, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.10.002>. Acesso em: 20 nov. 2019.

MATSI, T. H.; LITHOURGIDIS, A. S.; BARBAYIANNIS, N. Effect of liquid cattle manure on soil chemical properties and corn growth in Northern Greece. **Experimental Agriculture**, [S.I.], v. 51, n. 3, p. 435-450, 2014. Disponível em: 10.1017/S0014479714000404. Acesso em: 20 nov. 2019.

MCKEAN, J.; WARREN, G.P. Determination of phosphate desorption characteristics in soils using successive resin extractions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 27, p. 2397-2417, 1996.

MELLEK, J. E.; DIECKOW, J.; SILVA, V. L.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F. M.; SOUZA, J. L. M. Dairy liquid manure and no-tillage: physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambissol of Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, [S.I.], v. 110, p. 69-76, 2010. Disponível em: [doi:10.1016/j.still.2010.06.005](https://doi.org/10.1016/j.still.2010.06.005). Acesso em: 05 nov. 2019.

MENEZES, J. F. S.; BERTI, M. P. S.; VIEIRA JUNIOR, V. D.; RIBEIRO, R. L.; BERTI, C. L. F. Extração e exportação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo milho adubado com dejetos de suínos. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 5, n. 3, p. 55-59, 2018.

MIHAILESCU, E., MURPHY, P. N. C., RYAN, W., CASEY, I. A., HUMPHREYS, J. Phosphorus balance and use efficiency on 21 intensive grass-based dairy farms in the South of Ireland. **The Journal of Agricultural Science**, [S.I.], v. 153, p. 520-537, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0021859614000641>. Acesso em: 09 dez. 2019.

MORI, H. F. **Perdas de solo, água e nutrientes em sistema de plantio direto sob aplicação de dejetos líquidos de bovinos e chuva simulada.** 2008. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MUCHERU-MUNA, M.; MUGENDI, D.; KUNG’U, J.; MUGWE, J.; BATIONO, A. Effects of organic and mineral fertilizer inputs on maize yield and soil chemical properties in a maize cropping system in Meru South District, Kenya. **Agroforestry Systems**, [S.l.], v. 69, p. 189-197, 2007. Disponível em: 10.1007/s10457-006-9027-4. Acesso em: 20 nov. 2019.

NANNIPIERI, P.; CECCANTI, B.; GREGO, S. Ecological significance of biological activity in soil. In: BOLLAG, G. M.; STOTZKY, G. (Ed.) **Soil biochemistry.** New York: Marcel Dekker, 1990. p. 293-355.

NEPAR - Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná.** Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999.

O’BRIEN, P. L.; HATFIELD, J. Dairy manure and synthetic fertilizer: A meta-analysis of crop production and environmental quality. **Agrosystems, Geosciences e Environment**, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 1-12, 2019. Disponível em: 10.2134 / idade2019.04.0027. Acesso em: 20 nov. 2019.

OLIVEIRA, D. A.; PINHEIRO, A.; VEIGA, M. Effects of pig slurry application on soil physical and chemical properties and glyphosate mobility. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1421-1431, 2014.

PARHAM, J. A.; DENG, S. P.; RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V. Long-term cattle manure application in soil I. Effect on soil phosphorus levels, microbial biomass C, and dehydrogenase and phosphatase activities. **Biologia e Fertilidade dos Solos**, [S.l.], v. 35, n. 5, p. 328-337, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0476-2>. Acesso em: 04 jan.2020.

PAULETTI, V.; BARCELLOS, M.; MOTTA, A. C. V.; MONTE SERRAT, B.; SANTOS, I. R. Produtividade de culturas sob diferentes doses de esterco líquido de gado de leite e de adubo mineral. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 199-205, 2008.

PINTO, F. A.; SANTOS, F. L.; TERRA, F. D.; RIBEIRO, D. O.; SOUSA, R. R. J.; SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos de solo sob pastejo rotacionado em função da aplicação de cama de peru. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 3, p. 254-262, 2012.

PIOVESAN, R. P.; FAVARETTO, N.; VOLNEI, P.; MOTTA, A. C.; REISSMANN, C. B. Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 757-766, 2009.

PIZZEGHELLO, D.; BERTI, A.; NARDI, S.; MORARI, F. Phosphorus forms and P-sorption properties in three alkaline soils after long-term mineral and manure applications in north-eastern Italy. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 141, p. 58-66, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.011>. Acesso em: 09 dez. 2019.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, Â. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997.

RAIJ, B. VAN. Capacidade de troca catiônica das frações orgânicas e minerais dos solos. **Bragantia**, [S.l.], v. 28, p. 85-112, 1969. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051969000100008>. Acesso em: 22 dez. 2019.

RAIJ, B.; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2011. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 05 nov. 2019.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L. C. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solo provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1053-1059, 2003.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 151-160, 2001.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 24, n. 2, p. 345-354, 2000.

RODRIGUES, M.; PAVINATO, P. S.; WITHERS, P. J. A.; TELES, A. P. B.; HERRERA, W. F. B. Legacy phosphorus and no tillage agriculture in tropical Oxisols of the Brazilian savanna. **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 542, p. 1050-1061, 2016. Disponível em: [10.1016 / j.scitotenv.2015.08.118](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.118). Acesso em: 18 dez. 2019.

ROY, E. D. Phosphorus recovery and recycling with ecological engineering: A review. **Ecological Engineering**, [S.l.], v. 98, p. 213-227, 2017.

ROY, E. D.; RICHARDS, P. D.; MARTINELLI, L. A.; COLETTA, L. D.; LINS, S. R. M.; VAZQUEZ, F. F.; WILLING, E.; SPERA, S. A.; VANWEY, L. K.; PORDER, S. The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. **Nature Plants**, [S.l.], v. 2, n. 16043, p. 1-6, 2016. Disponível em: [10.1038/nplants.2016.43](https://doi.org/10.1038/nplants.2016.43). Acesso em: 18 dez. 2019.

SADEGHPOUR, A.; KETTERINGS, Q. M.; VERMEYLEN, F.; GODWIN, G. S.; CZYMMEK, K. J. Soil properties under Nitrogen- vs. Phosphorus-based manure and compost management of corn. **Soil Science Society of America Journal**, [S.l.], v. 80, p. 1272-1282, 2016. Disponível em: 10.2136 / sssaj2016.03.0086. Acesso em: 20 nov. 2019

SANTI, A.; AMADO, T. J. C.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. I – Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1075-1083, 2003.

SANTOS, V. R.; FILHO, G. M.; SANTOS, C. G.; SANTOS, M. A. L.; CUNHA, J. L. X. L. Contribuição de argilominerais e da matéria orgânica na CTC dos solos do estado de Alagoas. **Revista Caatinga**, [S.l.], v. 22, n. 1, p. 27-36, 2009.

SARTOR, L. R.; ASSMANN, A. L.; ASSMANN, T. S.; BIGOLIN, P. E.; MIYAZAWA, M.; CARVALHO, P. C. F. Effect of swine residue rates on corn, common bean, soybean and wheat yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 36, p. 661-669, 2012.

SBCS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 34, p. 1375-1383, 2010.

SHEORAN, S.; RAJ, D.; ANTIL, R. S.; MOR, V. S.; DAHIYA, D. S. Productivity, seed quality and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum*) under organic, inorganic and integrated nutrient management practices after twenty years of fertilization. **Cereal Research Communications**, [S.l.], v. 45, n. 2, p. 315-325, 2017.

SILVA, F. C.; RAIJ, B. V. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 34, n. 2, p. 267-288, 1999.

SILVA, J. C. P. M.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V.; FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A. S.; VELOSO, C. M.; SILVA, L. F. C. Esterco líquido de bovinos leiteiros combinado com adubação mineral sobre atributos químicos de um Latossolo Bruno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 32, p. 2563-2572, 2008.

SILVA, J. C. P. M.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V.; VELOSO, C. M.; FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A. S.; SILVA, L. F. C. Esterco de gado leiteiro associado a adubação mineral e sua influência na fertilidade de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 34, p. 453-463, 2010.

SILVEIRA, F. de M. **Perda de solo, água e nutrientes com aplicação de dejetos líquido bovino em Latossolo franco argilo arenoso sob plantio direto e chuva natural**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

SINGH, M.; REDDY, K. S.; SINGH, V. P.; RUPA, T. R. Phosphorus availability to rice (*Oriza sativa* L.) – wheat (*Triticum aestivum* L.) in a Vertisol after eight years of inorganic and organic fertilizer additions. **Bioresource Technology**, [S.l.], v. 98, p. 1474-1481, 2007. Disponível em: doi:10.1016/j.biortech.2006.02.045. Acesso em: 05 nov. 2019.

SINGH, R. J.; GHOSH, B. N.; SHARMA, N. K.; PATRA, S.; DADHWAL, K. S.; MEENA, V. S.; DESHWAL, J. S.; MISHRA, P. K. Effect of seven years of nutrient supplementation through organic and inorganic sources on productivity, soil and water conservation, and soil fertility changes of maize-wheat rotation in north-western Indian Himalayas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.l.], v. 249, p. 177-186, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.024>. Acesso em: 20 nov. 2019.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 975-983, 2006.

SOUZA, V. Q.; NARDINO, M.; BONATO, G. O.; BAHRY, C. A.; CARON, B. O.; ZIMMER, P. D.; SCHMIDT, D. Desfolha em diferentes estádios fenológicos sobre características agrônômicas em trigo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1905-1911, 2013.

SYSTAT SOFTWARE. **Sigmaplot for Windows Version 11.0**. San José: Systat Software Inc., 2010. Disponível em: <https://systatsoftware.com/products/sigmaplot/>. Acesso em: 11 dez. 2019.

TEJADA, M.; HERNANDEZ, M.; GARCIA, C. Restauração do solo utilizando resíduos de compostagem: efeitos nas propriedades do solo. **Soil and Tillage Research**, [S.l.], v. 102, n. 1, p. 109-117, 2009. Disponível em: 10.1016/j.still.2008.08.004. Acesso em: 13 nov. 2019.

TELES, A. P. B.; RODRIGUES, M.; HERRERA, B.; SOLTANGHEISI, A.; SARTOR, L. R.; WITHERS, P. J. A.; PAVINATO, P. S. Do cover crops change the lability of phosphorus in a clayey subtropical soil under different phosphate fertilizers? **Soil Use and Management**, [S.l.], v. 31, n. 1, p. 34-44, 2017. Disponível em: 10.1111/sum.12327. Acesso em: 18 dez. 2019.

TIECHER, T.; SANTOS, D. R.; KAMINSKI, J.; CALEGARI, A. Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 271-281, 2012.

TIMOFIECSYK, A. **Perda de solo, água e nutrientes com aplicação de dejetos líquido bovino sob plantio direto e chuva natural em Latossolo Bruno**. 2009.

72f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

TLUSTOŠ, P.; HEJCMAN, M.; KUNZOVÁ, E.; HLISNIKOVSKÝ, L.; ZÁMEČNÍKOVÁ, H.; SZÁKOVÁ, J. Nutrient status of soil and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to long-term farmyard manure application under different climatic and soil physicochemical conditions in the Czech Republic. **Archives of Agronomy and Soil Science**, [S.l.], v. 64, n. 1, p. 70-83, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1331297>. Acesso em: 18 dez. 2019.

VAN DER BOM, F. J. T.; MCLAREN, T. I.; DOOLETTE, A. L.; MAGID, J.; FROSSARD, E.; OBERSON, A.; JENSEN, L. S. Influence of long-term phosphorus fertilisation history on the availability and chemical nature of soil phosphorus. **Geoderma**, [S.l.], v. 355, p. 1139091-113909, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113909>. Acesso em: 09 dez. 2019.

VELOSO, M. E. C.; DUARTE, S. N.; NETO, D. D.; SILVA, E. C.; PEREIRA, C. R. Teor de nitrogênio, índices de área foliar e de colheita, no milho, em função da adubação nitrogenada, em solo de várzea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 13-25, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v8n1p13-25>. Acesso em: 16 dez. 2019.

VILAR, C. C.; COSTA, A. C. S.; HOEPERS, A.; JUNIOR, I. G. S. Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 34, p. 1059-1068, 2010.

WHALEN, J. K.; CHANG, C.; CLAYTON, G. W.; CAREFOOT, J. P. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, [S.l.], v. 64, p. 962-966, 2000.

WITHERS, P. J. A.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; CARVALHO, T. S.; GUILHERME, L. R. G.; BENITES, V. M.; GATIBONI, L. C.; SOUSA, D. M. G.; NUNES, R. S.; ROSOLEM, C. A.; ANDREOTE, F. D.; OLIVEIRA Jr. A.; COUTINHO, E. L. M.; PAVINATO, P. S. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, [S.l.], v. 8, p. 25-37, 2018. Disponível em: [10.1038/s41598-018-20887-z](https://doi.org/10.1038/s41598-018-20887-z). Acesso em: 18 dez. 2019.

WITHERS, P. J. A.; SYLVESTER-BRADLEY, R.; JONES, D. L.; HEALEY, J. R.; TALBOYS, P. J. Feed the crop not the soil: rethinking phosphorus management in the food chain. **Environmental Science and Technology**, [S.l.], v. 48, p. 6523-6530, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es501670j>. Acesso em: 09 dez. 2019.

ZAGONEL, J.; FERNANDES, E. C. Doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 331-339, 2007.

ZHANG, T.; HE, X.; DENG, Y.; TSANG, D. C. W.; JIANG, R.; BECKER, G.C.; KRUSE, A. Phosphorus recovered from digestate by hydrothermal processes with struvite crystallization and its potential as a fertilizer. **Science of The Total**

Environment, [S.l.], v. 698, p. 1342401-134240, 2020. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134240>. Acesso em: 09 dez. 2019.