

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JÉSSICA ALVES DOS SANTOS

**CONTROLE DA ACIDEZ DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE AZEVÉM
ANUAL E MILHO SILAGEM: ESTUDO EM MÉDIO PRAZO**

PONTA GROSSA - PR

2015

JÉSSICA ALVES DOS SANTOS

**CONTROLE DA ACIDEZ DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE AZEVÉM
ANUAL E MILHO SILAGEM: ESTUDO EM MÉDIO PRAZO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração: Agricultura. Linha de pesquisa: Uso e Manejo do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca

PONTA GROSSA - PR

2015

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

Santos, Jéssica Alves dos
S237 Controle da acidez do solo em sistemas
de produção de azevém anual e milho
silagem: estudo em médio prazo/ Jéssica
Alves dos Santos. Ponta Grossa, 2015.
86f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia -
Área de Concentração: Agricultura),
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Orientador: Prof. Dr. Adriel Ferreira
da Fonseca.

1.Zea mays. 2.Lolium multiflorum Lam.
3.Reação do solo. 4.Sistemas integrados de
produção agropecuária. 5.Preparo do solo.
I.Fonseca, Adriel Ferreira da. II.
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Mestrado em Agronomia. III. T.

CDD: 631.281



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: **“Controle da acidez do solo em sistemas de produção de azevém anual e milho silagem: estudo em médio prazo”.**

Nome: Jéssica Alves dos Santos

Orientador: Adriel Ferreira da Fonseca

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca

Prof. Dr. Renato Yagi

Pesquisador. Dr. Gabriel Barth

Data da Realização: 20 de fevereiro de 2015.

A Deus.

A minha mãe Ana Luiza, ao meu pai José Edegar e meus irmãos José Edegar Filho e Jeanine.

Ao meu cunhado Guilherme e meu sobrinho João Vicente.

Ao meu amor João Felipe.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A autora expressa seus agradecimentos as seguintes pessoas e instituições, sem as quais não teria sido possível a realização do presente trabalho:

A Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), na qual tive a oportunidade de realizar a graduação e a pós-graduação em Agronomia e a execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca, pelo estímulo, confiança, orientação, valiosas críticas e amizade.

Ao pesquisador Dr. Gabriel Barth, pelo apoio, sugestões e auxílio na condução do experimento.

Ao pesquisador Dr. Hernani Alves Silva, pelo apoio e sugestões para este trabalho como parte da banca de avaliação de trabalho de conclusão da Graduação em Agronomia.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela contribuição científica para realização deste trabalho e formação profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de iniciação científica (PIBIC/ CNPq) durante cinco anos.

À Fundação CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos e recursos financeiros.

A Fundação ABC/ Cooperativa Castrolanda, pela concessão da área para a instalação do experimento.

Ao Laboratório de Nutrição de Plantas e Laboratório de Fertilidade do Solo da UEPG, e seus funcionários e técnicos: Verônica Dias Carneiro, Danilo Bachinski, Elias Luiz Meira e Dirce Aparecida Vaz pela realização das análises químicas de planta e solo.

Ao Laboratório Multiusuário da UEPG pela concessão do equipamento espectrofotômetro de absorção atômica por chama.

Aos colegas e amigos (as) Flávia Biassio, Silvano Harkatin, Rodrigo Martins de Oliveira, Valter Yassuo Asami, Hendrik Ivan Reifur, Bleine Bach, Eduardo Güntzel, Fabrício Siqueira Hennipman, Shively Los Galetto, Moisés Marcondes de Oliveira, Sara Ponte Carrera, Gabriel Gregório Soares, Luana Duda, Simone Miara, Jasmine Jurich Pilati, Bruna Simone Siqueira, Julienne de Geus Moro, Elton Rech, André Vinícios Vam Beek, Adriano Xavier Maukoski e Thays Schneider pelo companheirismo e auxílio nas amostragens de solo e planta e análises laboratoriais.

A minha família e aos (as) amigos (as) Cleusa Burgardt, Ilda e Rogério Nogaroli, Rafaela Daiane de Oliveira e Cynthia Hlataki pelo estímulo e companheirismo durante todo esse tempo.

E a todas as pessoas que de alguma forma tornaram possível a concretização deste trabalho.

RESUMO

ALVES SANTOS, J. **Controle da acidez do solo em sistemas de produção de azevém anual e milho silagem: estudo em médio prazo.** 2015, 86p. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Ponta Grossa.

A correção da acidez é fundamental para a construção da fertilidade do solo, possibilitando a exploração mais sustentável dos sistemas de produção. Todavia, a eficiência e o efeito residual do corretivo utilizado são dependentes do grau de perturbação do solo, que tem sido distinto nos sistemas de produção. Os objetivos deste trabalho são (i) quantificar os rendimentos de matéria seca (MS) e teor de proteína bruta (PB) no milho silagem durante os anos 2008-2014; e (ii) avaliar as alterações nos atributos de fertilidade do solo: acidez ativa (pH), potencial (H+Al) e trocável (Al³⁺) e saturação por bases (V) aos 24 e 60 meses após a calagem, em diferentes métodos de preparo do solo e usos do azevém anual durante o outono-inverno. O experimento foi instalado no município de Castro (PR), em um Latossolo Bruno distrófico de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Nas parcelas (10 x 30 m) foram empregados quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS). Nas subparcelas (10 x 10 m) foram estudadas três propósitos de uso do azevém anual: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA). Em médio prazo, os métodos de preparo do solo (CC, CM, PD e PDS) não influenciam o rendimento de MS e teor de PB de milho silagem. Os usos de azevém anual para SPS e em SIPA não influenciam o rendimento de MS e proporcionam incremento nos teores de PB no milho silagem. O uso da cultura antecessora apenas como CS proporciona menor quantidade de benefícios aos sistemas de produção de azevém anual e milho silagem. No decorrer do período, menor acidez e maior V foram observadas na camada de 0-5 cm no PD. Quando comparado ao PD, o PDS não proporcionou melhoria nas condições de acidez e V. O azevém anual destinado à SPS e SIPA proporcionou, ao longo do tempo, diminuição da acidez do solo nas camadas abaixo de 10 cm de profundidade. O PD aliado ao SIPA proporciona melhoria nas condições de acidez do solo após 60 meses da aplicação do calcário.

Palavras-chave: *Zea mays*, *Lolium multiflorum* Lam., reação no solo, sistemas integrados de produção agropecuária, preparo do solo, sistemas sustentáveis.

ABSTRACT

ALVES SANTOS, J. **Soil acidity control in systems production of annual ryegrass and maize silage: study in medium-term.** 2015, 86p. Dissertation of masters degree in Agronomy - University State of Ponta Grossa.

The liming is essential for building soil fertility, enabling exploitation more sustainable of production systems. However, the efficiency and the residual effect of lime used are dependent on the degree of soil disturbance, which has been distinguished in conservation production systems. The objectives of this work are (i) quantify the yields of dry matter (DM) and content crude protein (CP) in maize silage during the years 2008-2014; and (ii) evaluate the changes in soil fertility attributes: active acidity (pH), potential acidity (H+Al), exchangeable acidity (Al³⁺) and base saturation (V) 24 and 60 months after of liming, in different methods tillage and uses of annual ryegrass during the autumn-winter. The experiment was conducted in Castro (PR) in an Oxisol dystrophic clayey. The design experimental was a randomized complete block design with split plots and four replications. In the plots were studied four methods of soil tillage: conventional tillage (CT), minimum tillage (MT), no-tillage (NT) and chiseled no-tillage (CNT). In the subplots were studied three purposes of use of annual ryegrass: cover crop (CC), silage (S) and grazing of the dairy heifers in integrated crop-livestock (ICL). In medium-term, the tillage methods (CT, MT, NT, and CNT) do not influence the yield of DM and CP content of maize silage. The uses annual ryegrass for S and ICL not influence yield of DM and provide high CP in corn silage. Using the preceding crop just as CC provides least amount of benefits systems to annual ryegrass production and maize silage. Lower acidity and higher V were observed in layer the 0-5 cm in NT. Compared to the NT, the CNT not improve the acidity and V. The annual ryegrass for the S and ICL provided, over time, decrease in the acidity of the soil in layers below 10 cm depth. The NT combined with ICL provides improvement in soil acidity conditions after 60 months after liming.

Keywords: *Zea mays*, *Lolium multiflorum* Lam., soil reaction, integrated crop-livestock, soil tillage, sustainable systems.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Rendimento de matéria seca (MS) de milho silagem (kg ha^{-1}) sobre efeito residual da calagem e dos tratamentos: (a) quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS) ($n = 60 \pm$ desvio padrão) e (b) três propósitos de uso do azevém anual para: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistemas integrado de produção agropecuária (SIPA) ($n = 80 \pm$ desvio padrão) e (c) durante cinco períodos de cultivo do milho (safras 2009/10; 2010/11; 2011/12; 2012/13 e 2013/14) ($n = 48 \pm$ desvio padrão). Médias seguidas por letras iguais maiúsculas e minúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para cada gráfico (a, b e c)..... 31
- Figura 2.** Rendimento de matéria seca (MS) de milho silagem (kg ha^{-1}), após calagem, durante cinco períodos de cultivo do milho (safras 2009/10; 2010/11; 2011/12; 2012/13 e 2013/14) ($n = 12 \pm$ desvio padrão) em cada método de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS) e em cada propósito de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA). Médias seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para métodos de preparo do solo e usos do azevém anual em cada período estudado. Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para períodos de cultivo de milho (safras) em cada método de preparo do solo e em cada uso do azevém anual. 33
- Figura 3.** Rendimento de matéria seca (MS) de milho silagem (kg ha^{-1}) ($n = 20 \pm$ desvio padrão), após calagem, cultivado nas safras 2009/10; 2010/11; 2011/12; 2012/13 e 2013/14, dos propósitos de uso do azevém anual em cada método de preparo do solo (a) e dos métodos de preparo do solo em cada propósito de uso do azevém anual (b). Métodos de preparo do solo: cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS. Propósitos de uso do azevém anual: cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) dentro de cada método de preparo do solo e de cada propósito de uso do azevém anual... 34
- Figura 4.** Teor de proteína bruta (PB) de milho silagem (g kg^{-1}) sobre efeito residual da calagem e dos tratamentos: (a) quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS) ($n = 60 \pm$ desvio padrão) e (b) três propósitos de uso do azevém anual: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) ($n = 80 \pm$ desvio padrão) e (c) durante cinco períodos de cultivo do milho (safras 2009/10; 2010/11; 2011/12; 2012/13 e 2013/14) ($n = 48 \pm$ desvio padrão). Médias seguidas por letras iguais maiúsculas e minúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para cada gráfico (a, b e c)..... 36
- Figura 5.** Teor de proteína bruta (PB) no milho silagem (g kg^{-1}) após calagem durante cinco períodos de cultivo de milho (safras 2009/10; 2010/11; 2011/12; 2012/13 e

2013/14) ($n = 12 \pm$ desvio padrão) em cada método de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS) e em cada propósito de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema de produção agropecuária – SIPA). Médias seguidas por letras iguais maiúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para métodos de preparo do solo e usos do azevém anual em cada período estudado. Médias seguidas por letras iguais minúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para períodos de cultivo do milho (safras) em cada método de preparo do solo e em cada uso do azevém anual. 38

Figura 6. Teor de proteína bruta (PB) no milho silagem (g kg^{-1}) ($n = 20 \pm$ desvio padrão), após calagem, cultivado nas safras 2009/10; 2010/11; 2011/12; 2012/13 e 2013/14, dos propósitos de uso do azevém anual em cada método de preparo do solo (a) e dos métodos de preparo do solo em cada propósito de uso do azevém anual (b). Métodos de preparo do solo: cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS. Propósitos de uso do azevém anual: cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) dentro de cada método de preparo do solo e de cada propósito de uso do azevém anual. 40

Figura 7. Precipitação (mm) média em cada ano estudado, medida no sistema de monitoramento agrometeorológico da Fundação ABC (SMA), localizada no município de Castro-PR, a cerca de 7000 m da área experimental. ⁽¹⁾ O calcário foi aplicado na ultima semana de março/2009; ⁽²⁾ Média histórica dos últimos 40 anos. 47

Figura 8. Acidez ativa ($\text{pH} - \text{CaCl}_2$) após dois períodos de avaliação (24 e 60 meses da calagem e durante cinco safras de milho). Os tratamentos foram quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS) ($n = 24 \pm$ desvio padrão) e três propósitos de uso do azevém anual para: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistemas integrado de produção agropecuária (SIPA) ($n = 32 \pm$ desvio padrão). Médias seguidas por letras iguais maiúsculas e minúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). 59

Figura 9. Acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}$), $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, após dois períodos de avaliação (24 e 60 meses da calagem e durante cinco safras de milho). Os tratamentos foram quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS) ($n = 24 \pm$ desvio padrão) e três propósitos de uso do azevém anual para: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) ($n = 32 \pm$ desvio padrão). Médias seguidas por letras iguais maiúsculas e minúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). 60

Figura 10. Acidez trocável (Al^{+3}), $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, após dois períodos de avaliação (24 e 60 meses da calagem e durante cinco safras de milho). Os tratamentos foram quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS) ($n = 24 \pm$ desvio padrão) e

três propósitos de uso do azevém anual para: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) ($n = 32 \pm$ desvio padrão). Médias seguidas por letras iguais maiúsculas e minúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)..... 61

Figura 11. Saturação por bases (V), %, após dois períodos de avaliação (24 e 60 meses da calagem e durante cinco safras de milho). Os tratamentos foram quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS) ($n = 24 \pm$ desvio padrão) e três propósitos de uso do azevém anual para: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) ($n = 32 \pm$ desvio padrão). Médias seguidas por letras iguais maiúsculas e minúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)..... 62

Figura 12. Acidez ativa ($\text{pH} - \text{CaCl}_2$), potencial ($\text{H} + \text{Al}$) e trocável (Al^{+3}), e saturação por bases (V), após dois períodos de avaliação (24 e 60 meses da calagem e durante cinco safras de milho) ($n = 48 \pm$ desvio padrão). Os tratamentos foram quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS) e três propósitos de uso do azevém anual para: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA). Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). 63

Figura 13. Acidez ativa ($\text{pH} - \text{CaCl}_2$) do solo após 24 (⌘) e 60 (□) meses da calagem (e durante cinco safras de milho) ($n = 12 \pm$ desvio padrão) em cada método de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS) e em cada propósito de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA). Médias seguidas por letras maiúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para métodos de preparo do solo e usos do azevém anual em cada período estudado. Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para os dois períodos de avaliação dos atributos do solo em cada método de preparo do solo e em cada uso do azevém anual. 64

Figura 14. Acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$), $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ do solo após 24 (⌘) e 60 (□) meses da calagem (e durante cinco safras de milho) ($n = 12 \pm$ desvio padrão) em cada método de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS) e em cada propósito de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA). Médias seguidas por letras maiúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para métodos de preparo do solo e usos do azevém anual em cada período estudado. Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para os dois períodos de avaliação dos atributos do solo em cada método de preparo do solo e em cada uso do azevém anual. 65

Figura 15. Acidez trocável (Al^{+3}), $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ do solo após 24 (⌘) e 60 (□) meses da calagem (e durante cinco safras de milho) ($n = 12 \pm$ desvio padrão) em cada método de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto –

PD e PD com subsolagem bianual – PDS) e em cada propósito de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA). Médias seguidas por letras maiúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para métodos de preparo do solo e usos do azevém anual em cada período estudado. Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para os dois períodos de avaliação dos atributos do solo em cada método de preparo do solo e em cada uso do azevém anual. 66

Figura 16. Saturação por bases (V), %, do solo após 24 (▧) e 60 (□) meses da calagem (e durante cinco safras de milho) ($n = 12 \pm$ desvio padrão) em cada método de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS) e em cada propósito de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA). Médias seguidas por letras maiúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para métodos de preparo do solo e usos do azevém anual em cada período estudado. Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para os dois períodos de avaliação dos atributos do solo em cada método de preparo do solo e em cada uso do azevém anual. 67

Figura 17. Acidez ativa (pH – CaCl_2) do solo após 24 e 60 meses da calagem (e durante cinco safras de milho) ($n = 8 \pm$ desvio padrão) dos propósitos de uso do azevém anual em cada método de preparo do solo e dos métodos de preparo do solo em cada propósito de uso do azevém anual. Métodos de preparo do solo: cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS. Propósitos de uso do azevém anual: cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) dentro de cada método de preparo do solo e de cada propósito de uso do azevém anual. 68

Figura 18. Acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}$) do solo após 24 e 60 meses da calagem (e durante cinco safras de milho) ($n = 8 \pm$ desvio padrão) dos propósitos de uso do azevém anual em cada método de preparo do solo e dos métodos de preparo do solo em cada propósito de uso do azevém anual. Métodos de preparo do solo: cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS. Propósitos de uso do azevém anual: cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) dentro de cada método de preparo do solo e de cada propósito de uso do azevém anual. 69

Figura 19. Acidez trocável (Al^{3+}) do solo após 24 e 60 meses da calagem (e durante cinco safras de milho) ($n = 8 \pm$ desvio padrão) dos propósitos de uso do azevém anual em cada método de preparo do solo e dos métodos de preparo do solo em cada propósito de uso do azevém anual. Métodos de preparo do solo: cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS. Propósitos de uso do azevém anual: cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA. Médias seguidas por letras iguais não diferem

estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) dentro de cada método de preparo do solo e de cada propósito de uso do azevém anual..... 70

Figura 20. Saturação por bases (V) do solo após 24 e 60 meses da calagem (e durante cinco safras de milho) ($n = 8 \pm$ desvio padrão) dos propósitos de uso do azevém anual em cada método de preparo do solo e dos métodos de preparo do solo em cada propósito de uso do azevém anual. Métodos de preparo do solo: cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS. Propósitos de uso do azevém anual: cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) dentro de cada método de preparo do solo e de cada propósito de uso do azevém anual..... 71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Precipitação pluvial (mm) medida no sistema de monitoramento agrometeorológico da Fundação ABC (SMA), localizada no município de Castro-PR, a cerca de 7000 m da área experimental. 27

Tabela 2. Sequencia de eventos do manejo das culturas de azevém anual (outono-inverno) cultivado com propósitos de cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) e, de milho silagem, de 2009 a 2014..... 29

Tabela 3. Aporte de nutrientes via fertilizantes, durante os anos de 2009-14, nas culturas de azevém anual (outono-inverno) – cultivado para cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) – e milho silagem (na primavera-verão). 29

Tabela 4. Valores de F referentes aos atributos acidez ativa (pH), potencial (H+Al) e trocável (Al^{3+}) e saturação por bases (V) do solo, após 24 e 60 meses da calagem. 49

Tabela 5. Valores de F referentes ao desdobramento das interações dos atributos acidez ativa (pH), potencial (H+Al) e trocável (Al^{3+}) e saturação por bases (V) das camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm do solo, após 24 e 60 meses da calagem..... 50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1. Sustentabilidade e caracterização dos sistemas agropecuários de produção nos Campos Gerais.....	17
3.2. Acidez de solos tropicais/subtropicais e seu controle	18
3.3 As culturas do azevém anual e milho nos sistemas integrados de produção.....	20
4. MATÉRIA SECA E PROTEÍNA BRUTA DE MILHO SILAGEM EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM AZEVÉM ANUAL APÓS CALAGEM	22
4.1. Resumo	22
4.2. Abstract.....	23
4.3. Introdução.....	24
4.4. Material e métodos	25
4.5. Resultados e discussão	30
4.5.1. Rendimento de matéria seca de milho silagem	30
4.5.2. Teores de proteína bruta de milho silagem.....	35
4.6. Conclusões.....	40
5. ACIDEZ E SATURAÇÃO POR BASES DO SOLO APÓS CALAGEM EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE AZEVÉM ANUAL E MILHO SILAGEM.....	42
5.1. Resumo	42
5.2. Abstract.....	43
5.3. Introdução.....	44
5.4. Material e métodos	45
5.5. Resultados e discussão	48
5.5.1. Resultados.....	48
5.5.2. Discussão	56
5.6. Conclusões.....	72
6. CONCLUSÕES GERAIS	73
7. REFERÊNCIAS	74
ANEXO A – Valores de F referentes ao rendimento de matéria seca e proteína bruta de milho silagem.....	83
ANEXO B – Valores de F referentes ao desdobramento das interações.....	84
ANEXO C – Valores de F referentes aos atributos do solo para cada método de preparo do solo.....	85
ANEXO D – Valores de F referentes aos atributos do solo para cada propósito de uso do azevém anual	86

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional tem resultado em maior demanda por alimentos e uso da terra, água e nutrientes. Isso requer combinação de manejo do solo, rendimento de culturas e uso eficiente de recursos naturais buscando manter a sustentabilidade da propriedade rural (SPIERTZ, 2012; MACEDO, 2009). Neste contexto, a melhor alternativa tem sido combinar o plantio direto (PD) aos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), que implicam no adequado planejamento de rotação de culturas, correção da acidez e melhoria da fertilidade do solo e manejo de pastagem (BALBINOT JUNIOR et al., 2009).

O milho (*Zea mays* L.) e o azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) são amplamente cultivados nos Campos Gerais do Paraná (Brasil) em diferentes sistemas de produção. O azevém anual – importante forrageira de inverno – pode fornecer biomassa para a alimentação animal (pastejo animal e silagem pré-secada) e manutenção do PD. No SIPA, o milho tem sido destinado à produção de silagem e grãos e o seu rendimento é dependente do adequado manejo da pastagem de inverno (BALBINOT JUNIOR et al., 2009; NICOLOSO et al., 2006). Além disso, elevados rendimentos de milho podem ser obtidos após intensa ciclagem de nutrientes proporcionada pelo azevém anual em PD (LUNARDI et al., 2008) principalmente, se inserido em SIPA (ASSMANN et al., 2003; SILVA et al., 2012; MORAES et al., 2014; CARVALHO et al., 2010).

Ao longo do tempo, em SIPA, a intensa exploração das culturas e da terra pode acidificar o solo. Portanto, é necessária a sua correção para construção da fertilidade do solo. No entanto, a reatividade do corretivo pode ser distinta dependendo do grau de revolvimento e do contato as partículas do solo. E, além disso, ocorrem diferenças quanto à eficiência e efeito residual do corretivo em SIPA, devido o aumento de ciclagem de nutrientes (CARVALHO et al., 2010).

A aplicação superficial do corretivo pode ser seguida ou não da incorporação no solo. Nos casos de cultivo convencional (CC) e cultivo mínimo (CM) há revolvimento de toda camada superficial do solo. No PD, a movimentação do solo é limitada apenas ao sulco de semeadura, podendo ser mais expressiva se empregada subsolagem. Quando há ausência de revolvimento do solo, a distribuição e a dissolução do corretivo no perfil podem ocorrer devido aos seguintes fatores: (i) migração física através de bioporos; (ii) formação e migração de bicarbonatos de cálcio (Ca) e magnésio (Mg); (iii) presença de ácidos orgânicos, e (iv) uso de fertilizantes nitrogenados (ANGHINONI, 2007; CAIRES et al., 2008; CAIRES et al., 2006; AMARAL et al., 2004; MOREIRA & FAGERIA, 2010). No entanto, em SIPA sob PD, a dissolução do corretivo pode ser potencializada devido à intensa exploração do azevém anual – quando destinado ao pastejo ou corte para silagem – aumentando a quantidade de bioporos (AULER et al., 2014) e macroporos (SILVA et al., 2014b), atividade microbiana (SOUZA et al., 2010), liberação de ácidos orgânicos oriundos de resíduos vegetal e animal (MIYAZAWA et al., 2000) e uso de fertilizantes nitrogenados.

No entanto, pouco são os estudos que relatem os efeitos da correção da acidez do solo em SIPA em diferentes métodos de preparo do solo e propósitos de uso do azevém anual, tanto no milho silagem como no solo, em experimento de médio prazo.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste em quantificar (i) o rendimento de matéria seca (MS) e teor de proteína bruta (PB) no milho silagem durante os anos 2008-2014; e (ii) as alterações nos atributos acidez ativa (pH), potencial ($H+Al$) e trocável (Al^{3+}) e saturação por bases (V) aos 24 e 60 meses após a calagem, nas camadas 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 e 20-30 cm, em diferentes métodos de preparo do solo (cultivo convencional – CC; cultivo mínimo – CM; plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS) e propósitos de uso do azevém anual durante o outono-inverno (cobertura do solo – CS; silagem pré-secada – SPS e pastejo animal – SIPA).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Sustentabilidade e caracterização dos sistemas agropecuários de produção nos Campos Gerais

O desenvolvimento de estratégias de produção eficiente e sustentável de alimentos é necessário para aumentar/melhorar a produtividade agrícola sem ocasionar problemas ambientais, sociais e econômicos. Nesse contexto, destaca-se o plantio direto (PD), pois permite: (i) incremento da produção agrícola; (ii) redução de custos de produção; (iii) aumento da qualidade ambiental; e (iv) melhoria de atributos biológicos, físicos e químicos do solo, devido ao incremento de carbono orgânico (LAL, 2006). Contudo, apenas a adoção do PD não parece ser suficiente para atender a demanda futura por alimentos, implicando no uso de sistemas mistos de produção, como exemplo os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA). Esse sistema é caracterizado por alternar, na mesma área, o cultivo de pastagens anuais ou perenes e culturas destinadas à produção vegetal e/ou grãos (HERRERO et al., 2010; BALBINOT JUNIOR et al., 2009) em PD (LANDERS, 2007).

O uso de sistemas de produção que visem à intensificação sustentável da propriedade (como o SIPA, segundo BALBINOT JUNIOR et al., 2009) pode aumentar os rendimentos das culturas com mínimo impacto ambiental (FIRBANK et al., 2013; HAWKESFORD et al., 2013; FAO, 1989). Além de intensificar o uso da terra, podem resultar em (i) diminuição do desmatamento (LANDERS, 2007), (ii) aumento do estoque de carbono orgânico total (COT) (SCHIAVO et al., 2011), ciclagem e distribuição dos nutrientes no solo (WHITEHEAD, 2000); e aumento de rendimento e redução de custos de produção (BALBINOT JUNIOR et al., 2009). A ciclagem e distribuição dos nutrientes no solo ocorrem devido a maior desfolha das plantas forrageiras (pastejo animal ou silagem pré-secada) e renovação do sistema radicular e liberação de esterco e urina (WHITEHEAD, 2000). Portanto é evidente que SIPA aliado ao PD enfoca a sustentabilidade da agricultura, apresentando impacto sobre o bem-estar humano e animal e benefícios ambientais (TANSEY, 2013).

Os SIPA são importantes para a sustentabilidade da agropecuária no Sul do Brasil (BALBINOT JUNIOR et al., 2009), particularmente nos Campos Gerais do Paraná (COLET et al., 2007). Porém, essa região apresenta solos com baixa fertilidade natural e alta acidez limitando a produção de biomassa e comprometendo a sustentabilidade dos SIPA (EMBRAPA, 1999). Portanto, é importante adequada correção da acidez do solo visando produção de biomassa para alimentação animal e, concomitantemente, de fitomassa para manutenção/consolidação do PD.

3.2. Acidez de solos tropicais/subtropicais e seu controle

Há três formas de acidez nos solos: (i) acidez ativa ou atual, conhecida por potencial de hidrogênio iônico (pH); (ii) acidez trocável, representada pela quantidade de alumínio (Al) trocável, cuja hidrólise fornece prótons (H^+) ao meio; e (iii) acidez potencial, que é a soma da acidez trocável e não trocável ($H+Al$) (SOUZA et al., 2007; SHAMRIKOVAA & SOKOLOVAB, 2013; VOROB'EVA & AVDON'KIN, 2006). Aproximadamente 30% do total da área de terra livre de gelo do mundo apresenta problemas relacionados à acidez do solo apresentando, altas concentrações dos íons alumínio (Al) (maior que $3,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), manganês (Mn) (maior que $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$) e alta acidez atual [pH menor que 4,0 (em solução de cloreto de cálcio – CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$) ou menor que 5,0 (em água)] e deficiência de nutrientes como fósforo (P) (menor que $6,0 \text{ mg dm}^{-3}$ – Mehlich-1), cálcio (Ca) (menor que $3,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), magnésio (Mg) (menor que $4,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e potássio (K) (menor que $0,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (VON UEXKÜLL & MUTERT, 1995).

A acidificação é um processo que ocorre naturalmente no solo devido aos seguintes fatores: (i) precipitação; (ii) lixiviação de cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e sódio – Na^+); (iii) absorção e exportação destes cátions pelas culturas; (iv) reações de hidrólise no plasma argilo-húmico; (v) adição de sais solúveis; (vi) reação de nitrificação do amônio oriundo de adubos

nitrogenados ou da mineralização da matéria orgânica do solo (MOS); e (vii) manejo inadequado do solo favorecendo a erosão, expondo horizontes subsuperficiais que geralmente são mais ácidos (VAN RAIJ, 2011; SOUZA et al., 2007; HAVLIN et al., 2014; NAGY & KÓNYA, 2007).

Os insumos comumente empregados na correção da acidez do solo são carbonatos de cálcio (CaCO_3 - calcita) e de magnésio $[(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$ - dolomita], conhecidos comercialmente como calcário (NOLLA & ANGHINONI, 2004). Os corretivos aumentam os rendimentos e a eficiência de uso do fertilizante pelas plantas, proporcionam maior disponibilidade de nutrientes e diminuição das concentrações de elementos potencialmente tóxicos (SORATTO & CRUSCIOL, 2008; CASTRO & CRUSCIOL, 2013). Porém, em SIPA a eficiência e o efeito residual do corretivo pode ocorrer de maneira distinta. O efeito do corretivo aumenta quando incorporado no solo devido ao contato íntimo das partículas do corretivo com o solo, como em cultivo convencional, mínimo e PD com subsolagem, ou pode ser mais lenta como em PD (WEIRICH NETO et al., 2000; NORTH, 2008, SOUZA et al., 2007; CAIRES et al., 2005).

No PD, a planta que exerce função de cobertura do solo, é decomposta em menor velocidade, diminuindo a ciclagem de nutrientes, quando comparada aos preparos que revolvem o solo (CC, CM e PD com subsolagem) (BOER et al., 2007). Porém, o PD, aliado aos SIPA, influenciam na dinâmica do calcário e na ciclagem e distribuição de nutrientes no solo, devido a presença de animais, os quais reciclam rapidamente o material vegetal (CARVALHO et al., 2010). Portanto, espera-se que o pastejo animal e os cortes realizados na pastagem atuem como agentes catalisadores da dissolução do calcário e melhoria/amenização da acidez do solo, e aumente a ciclagem de nutrientes, em período menor que apenas no PD.

3.3 As culturas do azevém anual e milho nos sistemas integrados de produção

O azevém anual é uma gramínea de inverno caracterizada por apresentar sistema radicular fasciculado, alta palatabilidade e fonte de nutrientes aos animais quando comparada às demais gramíneas anuais de inverno (PUPO, 1985). O azevém anual pode ser destinado a cortes para silagem pré-secada, fenação ou corte verde e também, para pastejo direto pelos animais (LOPES et al., 2006).

Tanto o azevém anual (cultivado no outono-inverno) quanto o milho destinado à silagem (cultivado na primavera-verão) têm sido utilizados como fontes de alimento à bovinocultura de leite da região dos Campos Gerais. O uso da silagem tem favorecido a manutenção da produção animal, principalmente durante o período de entressafra, quando há escassez de alimento para os ruminantes (JAREMTCHUK et al., 2005).

O milho apresenta alto rendimento de matéria verde (MV) e matéria seca (MS) por hectare (cerca de 15000 kg ha⁻¹ de MS), alto valor nutritivo (proteína bruta e matéria mineral), e consiste-se na principal fonte de energia ao animal, na forma de amido (LAVEZZO et al., 1997; ZEOULA et al., 2003; BELEZE et al., 2003a, BELEZE et al., 2003b; MIYAJI et al., 2013). A cultura do milho tem sido responsiva à melhoria das condições de fertilidade do solo, manejo de nutrientes e sistemas de produção. Porém, apresenta exigências nutricionais e susceptibilidade a elementos tóxicos, como Al e Mn, sendo favorecida com a calagem (FAGERIA, 2001). O uso de sistemas de produção que aumentem a porosidade da camada superficial e acelerem a correção da acidez do solo, como CC, CM e PD com subsolagem, podem melhorar o desenvolvimento radicular e a nutrição mineral do milho (CORSINI & FERRAUDO, 1999; WEIRICH NETO et al., 2000; ALBUQUERQUE et al., 2001; DE CARVALHO et al., 2004). Porém, em longo prazo, o PD aumenta o rendimento de milho, devido à melhoria na qualidade do solo (AL-KAISI & YIN, 2004; THIERFELDER et al., 2013). Adicionalmente, espera-se que o SIPA resulte em aumento da ciclagem e

disponibilidade de nutrientes no solo, com o passar do tempo, favorecendo o rendimento de milho silagem.

4. MATÉRIA SECA E PROTEÍNA BRUTA DE MILHO SILAGEM EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM AZEVÉM ANUAL APÓS CALAGEM

4.1. Resumo

Neste trabalho foram avaliados os efeitos da calagem na produção de matéria seca (MS) e teor de proteína bruta (PB) no milho silagem em sucessão ao azevém anual, de 2009 a 2014. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. Nas parcelas foram estudados quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS). Nas subparcelas foram estudados três propósitos de uso do azevém anual, durante o outono-inverno: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo realizado por novilhas leiteiras em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA). Em todos os anos o milho foi semeado cerca de 30 dias depois do manejo do azevém anual com herbicida. Amostras foram coletadas quando o milho apresentava 300 g kg⁻¹ de MS e foi quantificado o rendimento de MS e teor de PB. Em médio prazo, os métodos de preparo do solo (CC, CM, PD e PDS) não influenciam o rendimento de MS e teor de PB de milho silagem. Os usos de azevém anual para SPS e em SIPA não influenciam o rendimento de matéria seca e proporcionam manutenção ou incremento dos teores de proteína bruta no milho silagem. O uso da cultura antecessora apenas como cobertura do solo proporciona menor quantidade de benefícios aos sistemas de produção de azevém anual e milho silagem.

Palavras-chave: *Zea mays* L., *Lolium multiflorum* Lam., acidez do solo, sistemas integrados, preparo do solo, qualidade de silagem, agricultura conservacionista.

Dry matter and crude protein in silage maize in crop system with annual ryegrass after liming

4.2. Abstract

In this work was evaluated during 2009 to 2014, the effects of liming on dry matter yield (DM) and content crude protein (CP) in maize silage in succession with annual ryegrass. The experimental design was a randomized block in a split plot with four replications. In the plots were studied four methods of soil tillage: conventional tillage (CC), minimum tillage (MT), no-tillage (NT) and chiseled no-tillage (CNT). In the subplots were studied three purposes of use of annual ryegrass: cover crop (CC), silage (S) and grazing of the dairy heifers in integrated crop-livestock (ICL). All years maize was sowed about 30 days after annual ryegrass managed with herbicide. The maize had 300 g kg⁻¹ of DM and was performed to yield of DM and CP measures. In medium-term, methods soil tillage (CC, MT, NT, and CNT) do not change DM yield and CP of maize silage. The uses annual ryegrass for S and ICL not influence yield of DM and provide high CP in maize silage. Using the preceding crop just as CC provides least amount of benefits to annual ryegrass production and maize silage systems.

Keywords: *Zea mays* L., *Lolium multiflorum* Lam, soil acidity, integrated systems, soil tillage, quality silage, sustainable agriculture.

4.3. Introdução

O desafio para as próximas décadas será incentivar e desenvolver a agricultura sustentável (KIRKHAM et al., 2014) e manter a segurança alimentar (CURTIS & HALFORD, 2014). Nesse contexto, os sistemas de produção terão que: (i) satisfazer as necessidades básicas de alimentação; (ii) manter e/ou melhorar a qualidade ambiental e condições de vida dos trabalhadores rurais; e (iii) proporcionar viabilidade econômica (NRC, 2010); (iv) proporcionar a intensificação sustentável da propriedade de modo que compatibilize aumento de rendimento das culturas com mínimo impacto ambiental (FIRBANK et al., 2013; HAWKESFORD et al., 2013; FAO, 1989). Neste contexto destacam-se os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) que implicam no adequado planejamento de rotação de culturas, correção da acidez e melhoria da fertilidade do solo, manejo da forrageira e uso do plantio direto (PD) (BALBINOT JUNIOR et al., 2009).

Nos SIPA com bovinocultura de leite, na região Sul do Brasil tem sido amplamente utilizados o azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.), durante o outono-inverno e o milho (*Zea mays* L.) para silagem, durante a primavera-verão. O azevém anual tem sido cultivado para dois propósitos: alimentação animal (pastejado ou silagem pré-secada) e produção de biomassa para manutenção do PD (BOLLIGER et al., 2006). O uso de azevém anual destinado para corte de silagem pré-secada e para pastejo animal pode resultar em maior ciclagem de nutrientes e favorecer o aumento do rendimento e qualidade do milho silagem. A ensilagem de milho de boa qualidade bromatológica, é importante na alimentação e desempenho do gado leiteiro (BARLOW et al., 2012). Porém, são poucos os estudos que abordem essa sucessão de culturas em SIPA, sob o ponto de vista integrado da fertilidade do solo, nutrição de plantas e qualidade de forrageiras.

Em SIPA o processo de acidificação do solo e dissolução do corretivo pode ocorrer devido ao (i) uso intensivo do solo (BOLAN et al., 2008); (ii) uso de fertilizantes

nitrogenados; (iii) liberação de prótons (H^+) na solução do solo durante a transformação e ciclagem de nutrientes (BOLAN & HEDLEY, 2003) de resíduo vegetal e animal, (iv) absorção e (v) exportação de cátions básicos (cálcio – Ca^{2+} , magnésio – Mg^{2+} , potássio – K^+ e sódio – Na^+) pelas culturas e entre outro fatores como (vi) precipitação, (vii) lixiviação de cátions básicos, (viii) reações de hidrólise no plasma argilo-húmico e (ix) manejo inadequado do solo (VAN RAIJ, 2011; SOUZA et al., 2007; HAVLIN et al., 2014; NAGY & KÓNYA, 2007). No entanto, é necessário entender, em médio prazo, o efeito da acidez do solo e a dissolução do corretivo em diferentes métodos de preparo do solo e propósitos de uso da forrageira de inverno. Portanto, o objetivo deste trabalho foi averiguar, durante os anos 2009-14, os efeitos da calagem em sistemas de produção com azevém anual (diferentes métodos de preparo do solo: cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS, e propósitos de uso do azevém anual: como cobertura do solo – CS, para silagem pré-secada – SPS e para pastejo animal – SIPA) sobre o rendimento de matéria seca (MS) e teor de proteína bruta (PB) no milho silagem.

4.4. Material e métodos

O experimento foi instalado em área agropecuária cedida pela Cooperativa Castrolada a Fundação ABC em Castro - Paraná (latitude: 24°47'53"; longitude: 49°57'41" e altitude média: 997 m), sob Latossolo Bruno argiloso (EMBRAPA, 2006). O clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen, é o do tipo Cfb – caracterizado por apresentar temperatura amena, geadas e sem estação seca definida. A temperatura e a umidade relativa do ar média, durante os anos 2008-14 no município de Castro-PR, foram de 17,4°C e 87,8%, respectivamente.

A área experimental era cultivada em plantio direto (PD) há mais de 10 anos utilizando as culturas soja (*Glycine Max* L. Merrill) e milho (*Zea mays* L.) durante primavera-verão e

trigo (*Triticum aestivum* L.) e aveia preta (*Avena strigosa* L.) durante outono-inverno. A sucessão entre azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e milho ocorreu durante os anos de 2006-08, sob PD.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos ao acaso em parcelas subdivididas com quatro repetições, durante os anos de 2009-14. Nas parcelas (300 m²) foram estudados quatro métodos de preparo do solo: (i) cultivo convencional (CC); (ii) cultivo mínimo (CM); (iii) PD e (iv) PD com subsolagem bianual (PDS). No CC e CM, o solo foi preparado anualmente antes do cultivo do azevém anual com arado e grade aradora com profundidade média de 0,20 e 0,10 m, respectivamente. No PD houve revolvimento do solo apenas no sulco de semeadura/adubação, e no PDS, o solo foi escarificado com profundidade média de 0,30 m, ao 0, 24 e 48 meses após a calagem. Nas subparcelas (100 m²) foram estudados três propósitos de uso do azevém anual durante o outono-inverno: (a) como planta de cobertura do solo (CS); (b) para produção de silagem pré-secada (SPS) e (c) como forrageira para pastejo animal, enquadrando-se como sistema integrado de produção agropecuária (SIPA). O azevém anual cultivado em SIPA foi pastejado, durante outono-inverno, por novilhas da raça Holandesa (carga animal média: 1200 kg ha⁻¹), antecedendo o cultivo de milho na primavera-verão.

Por ocasião da calagem, o solo apresentava na camada de 0-20 cm, os seguintes atributos (determinado conforme: Pavan et al. (1992) e EMBRAPA (1997)): 4,5 de pH (CaCl₂); 107,0; 6,0; 29,0; 11,0; 3,6; e 151,0 mmol_c dm⁻³ de H+Al, Al, Ca, Mg, K e capacidade de troca catiônica (CTC), respectivamente; 20,9 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1); 26,5 g dm⁻³ de C orgânico (método Walkey-Black); e 29 % de saturação por bases (V); 463,5; 370,5 e 166,0 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente.

A correção da acidez do solo foi realizada mediante aplicação de 8,36 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico em março de 2009. A dose do corretivo objetivou elevar a V para 70% –

valor considerado mais adequado para sistemas de produção de milho (CAIRES et al., 2005). O corretivo utilizado apresentava 150; 250 e 740 g kg⁻¹ de óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO) e poder relativo de neutralização total (PRNT), respectivamente. De acordo com o método de preparo do solo (tratamento principal) o contato do solo com o corretivo foi ou não mais íntimo e eficiente.

No decorrer deste estudo, os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar foram de 17,4°C e 87,8%, respectivamente; quanto às precipitações pluviárias, estas podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Precipitação pluvial (mm) medida no sistema de monitoramento agrometeorológico da Fundação ABC (SMA), localizada no município de Castro-PR, a cerca de 7000 m da área experimental.

Ano ⁽¹⁾	Mês												Média
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
2009	-	-	78 ⁽²⁾	21	90	90	90	70	223	181	116	124	129
2010	191	111	122	152	114	55	75	21	54	113	96	241	112
2011	214	250	75	63	30	113	185	278	34	189	116	140	141
2012	192	150	94	177	77	180	65	10	194	146	110	207	134
2013	60	238	96	91	100	395	125	23	138	85	62	61	123
2014	218	115	156	100	-	-	-	-	-	-	-	-	147

⁽¹⁾ Em cada ano o azevém anual foi cultivado no período de abril a agosto e o milho silagem no período de setembro a março;

⁽²⁾ O calcário foi aplicado na última semana de março/2009.

A sequência de eventos de cultivos no decorrer do período estudado na área experimental pode ser observada na Tabela 2. Salienta-se que, anualmente, o espaçamento entre linhas e a densidade de sementes na cultura do azevém anual foram de 0,17 m e 60,0 kg de sementes ha⁻¹, respectivamente e, na cultura do milho silagem foram de 0,80 m e 5,0 sementes m⁻¹, respectivamente. O corte do azevém anual destinado a SPS foi realizado com o auxílio de ceifadora mecanizada mantendo resíduo de 10 cm de altura. No tratamento que inclui SIPA, os animais entravam e saíam da área quando o azevém anual possuía 30 e 10 cm de altura, respectivamente. O aporte de nutrientes via fertilizantes aplicados nas culturas do azevém anual e milho silagem, durante o período de 2009-14, estão apresentados na Tabela 3.

Quando o milho encontrava-se no estágio R3 de desenvolvimento (WEISMANN, 2007), com concentração de aproximadamente 300 g kg⁻¹ de matéria seca (MS) (VILELA et al., 2008; NUSSIO et al., 2001) foram coletadas amostras de 10 plantas de milho m⁻¹ de cada subparcela, durante os anos 2009-14. Essas amostras foram levadas para o laboratório, separadas em três partes: folha, colmo e espiga, pesadas em balança de precisão, lavadas com água deionizada, armazenadas em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até atingir massa constante. Em seguida, pesadas novamente em balança de precisão, moídas em moinho do tipo “Wiley” equipado com malha de 0,85 mm e armazenadas em sacos plásticos. O rendimento de MS foi calculado levando em consideração os pesos úmido e seco das amostras de milho. As amostras foram submetidas a análise química de nitrogênio (N) pelo método semi-micro-Kjeldahl e posteriormente transformado em proteína bruta (PB), conforme método oficial AOAC 2011.11 (2002). Para este trabalho foram utilizados os dados de MS de toda a parte aérea do milho (folhas, colmos e espiga).

Todos os resultados foram submetidos ao teste de esfericidade e verificou-se que os mesmos atenderam a condição H-F (HUYNH & FELDT, 1970; FERNANDEZ, 1991), que possibilitou realizar estatística univariada para cada atributo estudado. Portanto, no modelo estatístico foram considerados os fatores: quatro tratamentos principais (métodos de preparo do solo: CC, CM, PD e PDS), três tratamentos secundários (diferentes propósitos de uso do azevém anual: CS, SPS e SIPA) e cinco períodos de cultivo do milho (safras 2009/10, 2010/11, 2011/12, 2012/13 e 2013/14). Na ausência de interação significativa foram consideradas: (i) como repetições de métodos de preparo do solo: blocos, propósitos de uso do azevém anual e períodos de cultivo de milho; (ii) como repetições de propósitos de uso do azevém anual: blocos, métodos de preparo do solo e períodos de cultivo de milho; e (iii) como repetições de períodos de cultivo de milho: blocos, métodos de preparo do solo e propósitos de uso do azevém anual. Nos casos de F significativo ($P < 0,05$), as médias foram comparadas

mediante o emprego do teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas mediante o uso do programa de computador SAS Versão 9.2 (SAS, 2004).

Tabela 2. Sequencia de eventos do manejo das culturas de azevém anual (outono-inverno) cultivado com propósitos de cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) e, de milho silagem, de 2009 a 2014.

Cultura (Safrá)	Cultivar ou Híbrido	Data de semeadura	Atividades no inverno ⁽³⁾	Data do manejo da fitomassa de azevém anual com <i>glyphosate</i> ⁽⁴⁾ e ensilagem de milho
Azevém anual (2009)	FABC01 ⁽¹⁾	17/04/09	2 cortes para SPS 4 pastejos	14/09/09
Milho (2009/10)	P30R50 ⁽²⁾	08/10/09	-	03/02/10
Azevém anual (2010)	FABC01	15/04/10	3 cortes para SPS 3 pastejos	31/08/10
Milho (2010/11)	P30R50	16/09/10	-	02/02/11
Azevém anual (2011)	FABC01	18/04/11	1 corte para SPS 2 pastejos	16/08/11
Milho (2011/12)	P32R22H ⁽²⁾	03/10/11	-	08/02/12
Azevém anual (2012)	FABC01	25/04/12	3 cortes para SPS 5 pastejos	01/10/12
Milho (2012/13)	P32R22H	30/10/12	-	20/02/13
Azevém anual (2013)	FABC01	19/04/13	2 cortes para SPS 3 pastejos	18/09/13
Milho (2013/14)	P30R50	15/10/13	-	11/02/14

⁽¹⁾ Cultivar de azevém comum; ⁽²⁾ Híbrido simples; ⁽³⁾ O número de cortes para SPS e de pastejos (SIPA) variou conforme as condições climáticas; ⁽⁴⁾ Dose do herbicida *glyphosate*: 1920 g ha⁻¹ de isopropilamina de N – (fosfonometil) glicina.

Tabela 3. Aporte de nutrientes via fertilizantes, durante os anos de 2009-14, nas culturas de azevém anual (outono-inverno) – cultivado para cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) – e milho silagem (na primavera-verão).

Culturas	Aporte de nutrientes		
	N ⁽¹⁾	P ₂ O ₅ ⁽²⁾	K ₂ O ⁽³⁾
	kg ha ⁻¹		
Adubação de base			
Azevém anual	90,4	220,8	160,0
Milho ⁽⁴⁾	186,0	474,0	-
Adubação de cobertura			
Azevém anual:			
- 30 dias após semeadura	275,5	-	221,5
- Após corte para SPS ⁽⁵⁾	594,0	-	36,0
- Em SIPA ⁽⁵⁾	918,0	-	36,0
Milho ⁽⁶⁾	562,5	-	900,0
Somatório	2.626,4	694,8	1.353,5

⁽¹⁾N aplicado na forma de ureia (450 g kg⁻¹ de N); ⁽²⁾P₂O₅ aplicado na forma que possui alta solubilidade em água; ⁽³⁾K₂O aplicado na forma de cloreto de potássio (KCl – 600 g kg⁻¹ de K₂O); ⁽⁴⁾ Em todos os anos estudados a adubação de base do milho foi complementada com 3,0 kg ha⁻¹ de zinco (Zn); ⁽⁵⁾Adubação de cobertura aplicada apenas no azevém anual cultivado para SPS e em SIPA e os valores mostrados leva em consideração o número de cortes para SPS e de pastejo animal no azevém anual de cada ano; ⁽⁶⁾Adubação de cobertura aplicada 30 dias após a semeadura.

4.5. Resultados e discussão

4.5.1. Rendimento de matéria seca de milho silagem

O rendimento de MS de milho silagem foi influenciado pelas interações entre métodos de preparo do solo e propósitos de uso do azevém anual ($F = 3,09$; $P = 0,0068$), métodos de preparo do solo e períodos de cultivo de milho silagem ($F = 2,15$; $P = 0,0161$) e ainda, pela interação tripla entre métodos de preparo do solo, propósitos de uso do azevém anual e períodos de cultivo de milho silagem ($F = 1,65$; $P = 0,0368$). Conforme é possível verificar no Anexo A deste trabalho.

Na média das cinco safras (períodos) avaliadas, o rendimento de MS de milho silagem não foi influenciado pelos métodos de preparo do solo (Figura 1a) e propósitos de uso do azevém anual (Figura 1b). No entanto, houve diferença do rendimento de MS entre os períodos de cultivo de milho (Figura 1c). O rendimento de MS foi maior nos dois primeiros anos de avaliação (safras 2009/10 e 2010/11) decorrente do efeito mais expressivo da calagem (calcário dolomítico aplicado em 2009). A correção da acidez do solo e neutralização do alumínio (Al) proporcionada pela calagem resulta em maior disponibilidade de nutrientes e condições ao adequado desenvolvimento do sistema radicular do milho (CAIRES et al., 2008; BOLAN et al., 2008), resultando em maiores rendimentos de MS. Tem sido observado aumento de aproximadamente 13% no rendimento de grãos de milho e, também de MS, devido ao aumento das concentrações de Ca no solo (camada de 0-20 cm) proporcionada pela calagem (CAIRES et al., 2004).

No entanto, os rendimentos de MS foram menores no terceiro e quarto períodos de cultivo e, principalmente, na última safra de milho silagem (Figura 1c). Esse decréscimo no rendimento de MS, ao longo dos anos, pode ser resultado dos seguintes fatores: (i) ausência de leguminosas no plano de rotação de culturas (NEMECEK et al., 2008), resultando em empobrecimento do meio com N oriundo de fixação biológica (OJIEM et al., 2014); (ii)

acidificação natural do solo nos sistemas de produção; e (iii) maior ocorrência de déficit hídrico nos meses de outubro a dezembro, principalmente na safra 2013/14 (Tabela 1) que coincidiram com os estádios de desenvolvimento VE ao R1 – períodos críticos a cultura do milho (TSUKAHARA, et al., 2010).

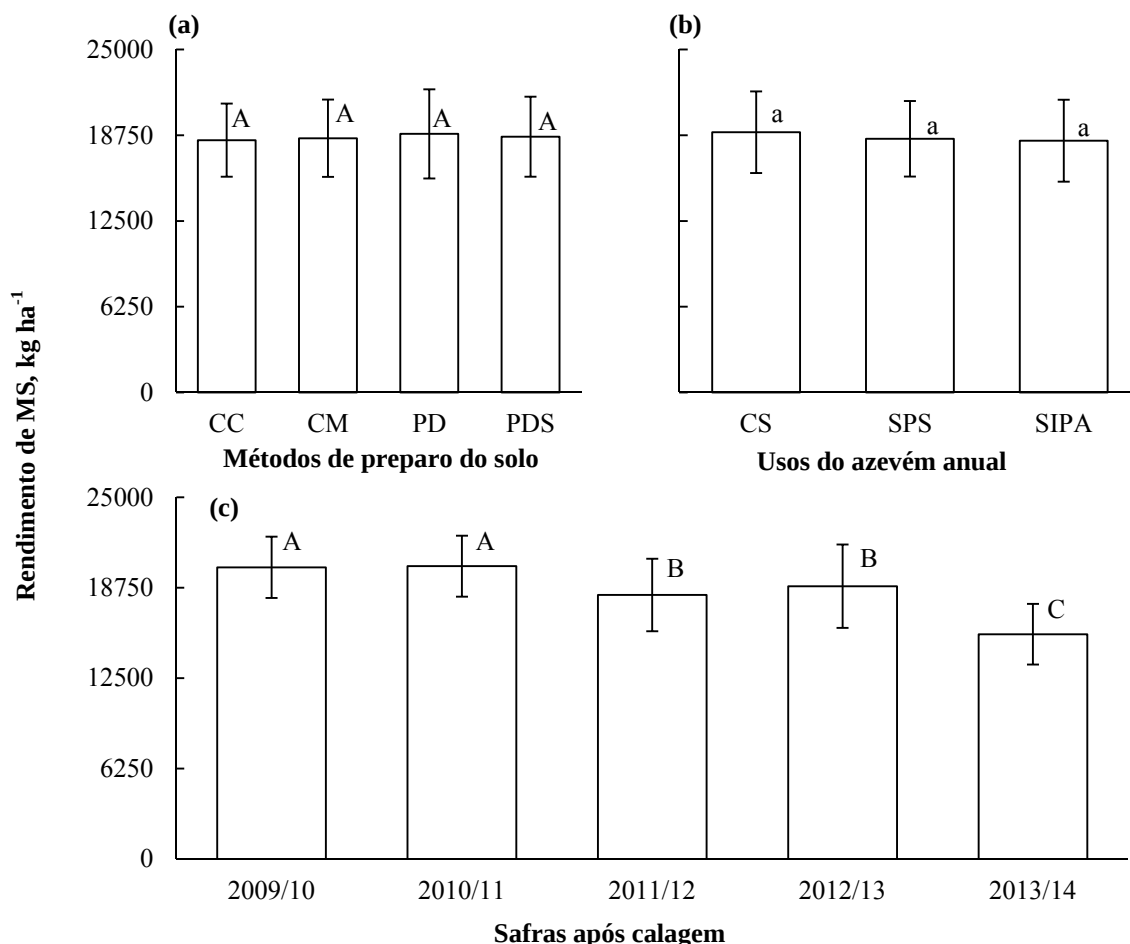


Figura 1. Rendimento de matéria seca (MS) de milho silagem (kg ha⁻¹) sobre efeito residual da calagem e dos tratamentos: (a) quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS) ($n = 60 \pm$ desvio padrão) e (b) três propósitos de uso do azevém anual para: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistemas integrado de produção agropecuária (SIPA) ($n = 80 \pm$ desvio padrão) e (c) durante cinco períodos de cultivo do milho (safras 2009/10; 2010/11; 2011/12; 2012/13 e 2013/14) ($n = 48 \pm$ desvio padrão). Médias seguidas por letras iguais maiúsculas e minúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para cada gráfico (a, b e c).

Considerando os métodos de preparo do solo e propósitos de uso do azevém anual, maiores rendimentos de MS de milho ocorreram no primeiro ano quando empregado o método CC e utilizado o azevém anual para CS (Figura 2). Isso se deve ao fato de o CC ao revolver o solo, proporcionou maior contato entre o corretivo com os colóides do solo, favorecendo a reatividade do corretivo, melhoria das condições de fertilidade do solo e,

consequentemente, o desenvolvimento da cultura do milho, em curto prazo. Esse fato também foi encontrado por Carvalho et al. (2004). Nas demais safras estudadas não houve diferença entre métodos de preparo do solo e propósitos de uso do azevém anual.

Levando-se em consideração os períodos de cultivo do milho silagem e métodos de preparo do solo, nota-se que houve decréscimo do rendimento de MS, ao longo do tempo (Figura 2). O rendimento de MS de milho silagem foi maior em CM, PD e PDS nos quatro primeiros anos e, ao longo do tempo apresentou decréscimo. Thierfelder et al. (2013), em médio prazo, também observaram que, PD e PDS proporcionaram incremento no rendimento de grãos e, consequentemente de MS de milho, em relação a método de preparo que revolve o solo. Nos anos estudados, com exceção do primeiro, os métodos de preparo do solo PD e PDS foram similares, indicando que em solos com características e manejo semelhantes ao deste estudo, não necessitam de subsolagem para obtenção de elevados rendimentos de MS de milho silagem.

Considerando os períodos de cultivo de milho silagem e os propósitos de uso de azevém anual, nota-se pequena variação no rendimento de MS de milho silagem ao longo dos quatro primeiros anos; e, entretanto, diminuição no rendimento de MS no quinto período (Figura 2). Essa diminuição pode ser atribuída à baixa precipitação pluviométrica (Tabela 1), falta de leguminosas na rotação de culturas e acidificação natural no sistema de produção. Ainda, o azevém anual destinado a SPS poderia ser o propósito de uso com maior probabilidade em intensificar e explorar as reservas de nutrientes do solo, devido à intensa exportação pela parte aérea da forrageira. No entanto, esse estudo evidencia justamente ao contrário, no qual o uso do azevém anual para SPS pode manter o rendimento de MS de milho silagem, desde que haja precipitação pluviométrica em quantidade e frequência dentro dos padrões considerados normais. Ainda, a intensa renovação do sistema radicular devido ao corte para SPS pode ter favorecido a dissolução do calcário, maior disponibilidade de

3a). Levando em consideração cada método de preparo do solo em cada propósito de uso do azevém anual não foi observada diferenças entre os métodos de preparo do solo (Figura 3b).

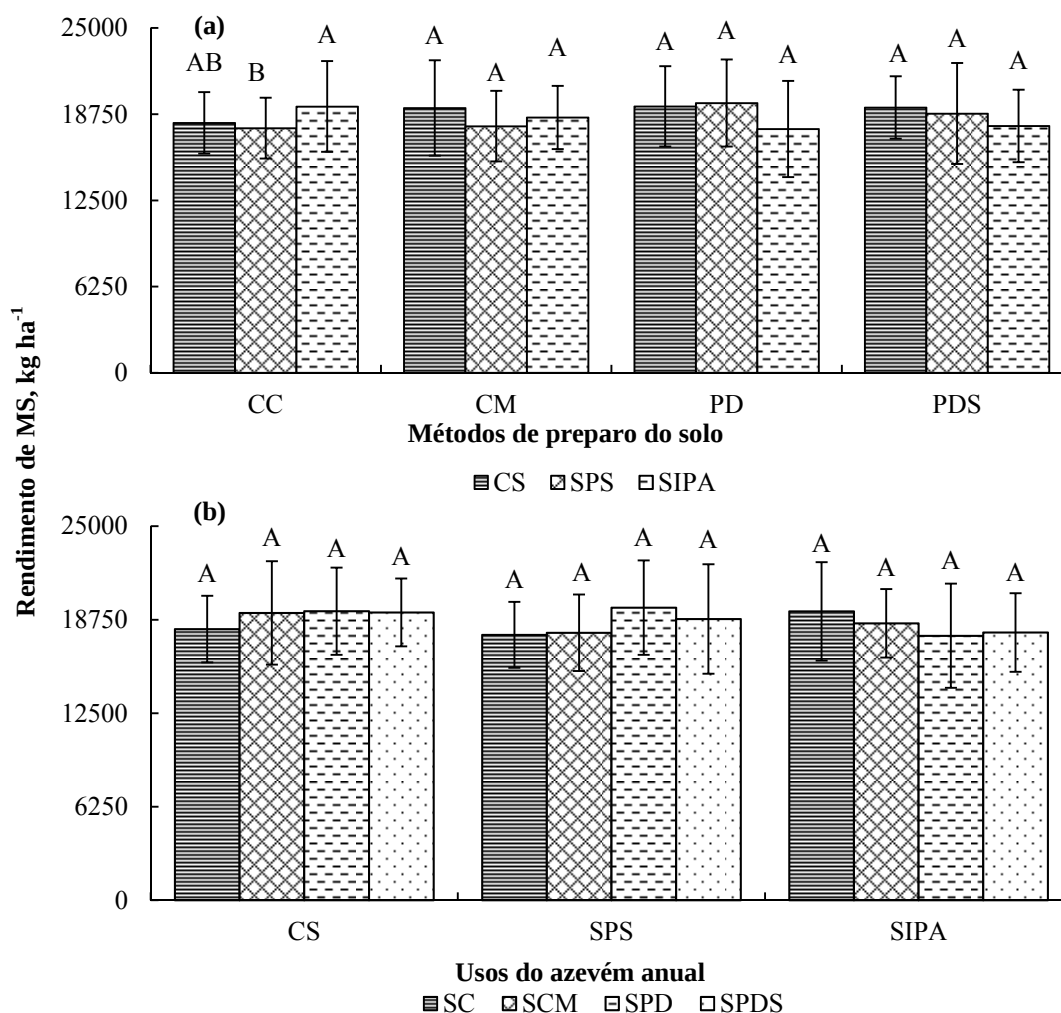


Figura 3. Rendimento de matéria seca (MS) de milho silagem (kg ha^{-1}) ($n = 20 \pm$ desvio padrão), após calagem, cultivado nas safras 2009/10; 2010/11; 2011/12; 2012/13 e 2013/14, dos propósitos de uso do azevém anual em cada método de preparo do solo (a) e dos métodos de preparo do solo em cada propósito de uso do azevém anual (b). Métodos de preparo do solo: cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS. Propósitos de uso do azevém anual: cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) dentro de cada método de preparo do solo e de cada propósito de uso do azevém anual.

Sistemas de produção, como o SIPA, que utilizam o azevém anual para pastejo animal, são favorecidos do ponto de vista da fertilidade do solo e da nutrição de plantas, no que compete a renovação da parte aérea e radicular, dissolução do calcário, disponibilização e ciclagem de nutrientes (CARVALHO et al., 2010) e, aporte de fertilizantes. Tem sido

verificado que áreas pastejadas no outono-inverno, adequadamente fertilizadas com nitrogênio não prejudicam o rendimento de milho em SIPA (ASSMANN et al., 2003). Portanto, o manejo de azevém anual para pastejo animal manteve os rendimentos de MS de milho silagem viabilizando o SIPA de azevém anual e milho silagem. Adicionalmente a esses fatores, a importância e eficiência da reposição de nutrientes via fertilizantes nos usos de azevém anual para SPS e em SIPA. Essa reposição de nutrientes, mesmo que baseada em recomendação antiga (aproximadamente 20 anos), leva em consideração a exportação de nutrientes e o manejo da forrageira e do solo, favorecendo o azevém anual destinado a SPS e em SIPA, a manter o rendimento de MS de milho silagem ao longo do tempo (CANTARUTTI et al., 2007; OLIVEIRA, 2003).

4.5.2. Teores de proteína bruta de milho silagem

Para os teores de proteína bruta (PB) não foram observadas interações entre (i) métodos de preparo do solo e propósitos de uso do azevém anual, (ii) métodos de preparo do solo e períodos de cultivo de milho silagem, (iii) propósitos de uso do azevém anual e períodos de cultivo de milho silagem e, (iv) métodos de preparo do solo, propósitos de uso do azevém anual e períodos de cultivo de milho silagem. Conforme é possível verificar no “Anexo Tabelas 1, 2, 3 e 4” deste trabalho.

No milho silagem, a média dos cinco períodos de cultivos (safras) avaliados, os teores de PB não foram diferentes entre os métodos de preparo do solo (Figura 4a). Isso se deve ao fato de que os aportes de nitrogênio via fertilizante foram iguais a todos os métodos de preparo do solo e diferentes para propósitos de uso do azevém anual estudados.

No entanto, o teor de PB foi incrementado quando o azevém anual foi destinado a SPS e em SIPA (Figura 4b). Isso se deve ao fato de o animal ter papel fundamental na ciclagem de nutrientes, constante renovação da parte aérea e radicular da forrageira e liberação de resíduos

animal (fezes e urinas) (FLORES et al., 2008). Esses últimos são responsáveis pela entrada de 1,5; 1,4; 1,5 e 15,0 g kg^{-1} de N, fósforo ($\text{P-P}_2\text{O}_5$), potássio ($\text{K-K}_2\text{O}$) e MS (CQFS RS/SC apud PAULETTI, 2004, p.68) em sistema de produção. Somados a isso, em SIPA, houve maior aporte de fertilização nitrogenada (Tabela 3) favorecendo o aumento da concentração de nitrogênio (N), e consequentemente, de PB no milho silagem. Portanto, em SIPA, uso de azevém anual como forrageira de inverno, resulta, na primavera-verão, na obtenção de volumoso (silagem de milho) com adequado teor de PB (cerca de 70 g kg^{-1} – EGAN & DOYLE, 1985).

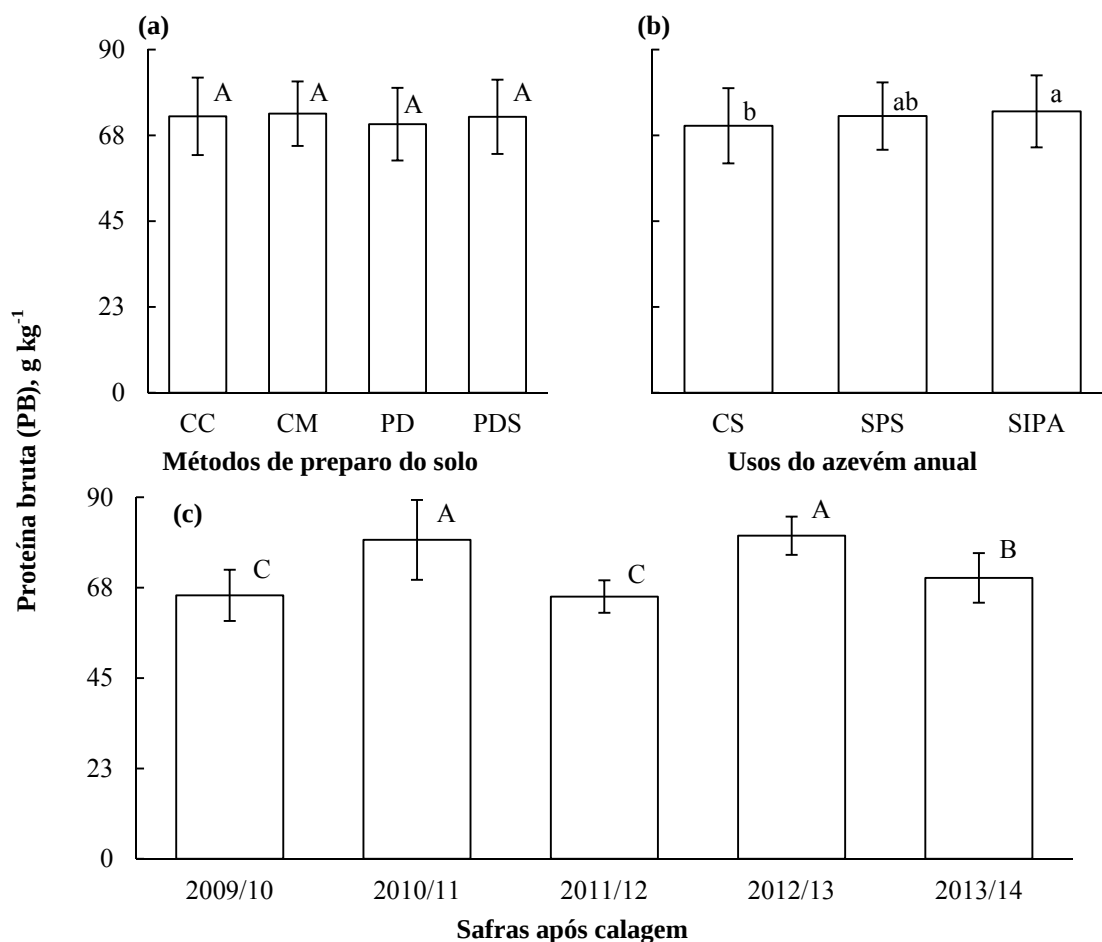


Figura 4. Teor de proteína bruta (PB) de milho silagem (g kg^{-1}) sobre efeito residual da calagem e dos tratamentos: (a) quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS) ($n = 60 \pm$ desvio padrão) e (b) três propósitos de uso do azevém anual: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) ($n = 80 \pm$ desvio padrão) e (c) durante cinco períodos de cultivo do milho (safras 2009/10; 2010/11; 2011/12; 2012/13 e 2013/14) ($n = 48 \pm$ desvio padrão). Médias seguidas por letras iguais maiúsculas e minúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para cada gráfico (a, b e c).

O maior incremento de PB foi obtido nas safras 2010/11 e 2012/13 (Figura 4c). Isso pode ser devido ao fato da cultura antecessora ao milho, o azevém anual, ter sido explorado de forma mais intensa, com vários cortes para SPS e pastejo animal em SIPA (Tabela 2) decorrente da precipitação pluviométrica adequada (Tabela 1). Isso acarreta em maior aporte de nutrientes (Tabela 3) após cada corte e pastejo, maior renovação da parte aérea e radicular e ciclagem de nutrientes, favorecendo o incremento do teor de PB no milho silagem. Ainda, o teor de PB ($< 8,0 \text{ g kg}^{-1}$) mais baixo no milho silagem da safra 2013/14 pode estar intimamente ligado a baixa precipitação pluviométrica ocorrida no início de desenvolvimento do milho (Tabela 1). Esse fato acarretou em menor número de cortes de SPS e pastejo animal e, conseqüentemente, diminuição do aporte de N via fertilizantes e ciclagem de nutrientes. Menor teor de PB ($< 7,0 \text{ g kg}^{-1}$) no milho silagem foi observado quando se usou o azevém anual como CS e SPS. Esse fato pode ser devido ao fato de que o azevém anual destinado a CS, no final do seu ciclo, apresentava elevada relação C/N devido à exclusão de pastejo (SILVA et al., 2014a). E, pode ter necessitado de maior demanda de N pelos microrganismos para sua degradação (CANTARELLA, 2007) disponibilizando menos N no solo e, conseqüentemente, menor absorção, acúmulo de N e teor de PB no milho silagem.

Considerando os métodos de preparo do solo e usos do azevém anual em cada período estudado, não houve diferença entre os métodos de preparo do solo. No entanto, menor incremento do teor de PB no milho silagem, nas safras 2009/10 (12 meses após calagem) e 2013/14 (estiagem hídrica – Tabela 1), foi devido ao uso do azevém anual para CS (Figura 5), no entanto, CS não foi diferente de SPS. Esses fatos podem ter ocorrido devido ao menor efeito do calcário devido ao curto tempo de reação no solo e, baixa precipitação pluviométrica. O azevém anual em SIPA proporcionou maior teor de PB no milho silagem em relação ao azevém anual destinado a CS e SPS, em todas as safras estudadas. Nas demais

safras estudadas não houve diferença entre métodos de preparo do solo e usos do azevém anual.

Considerando o efeito dos períodos de cultivo do milho silagem nos métodos de preparo do solo, maior incremento no teor de PB foi obtido nas safras 2010/11 e 2012/13 nos métodos de preparo CC e PD (Figura 5).

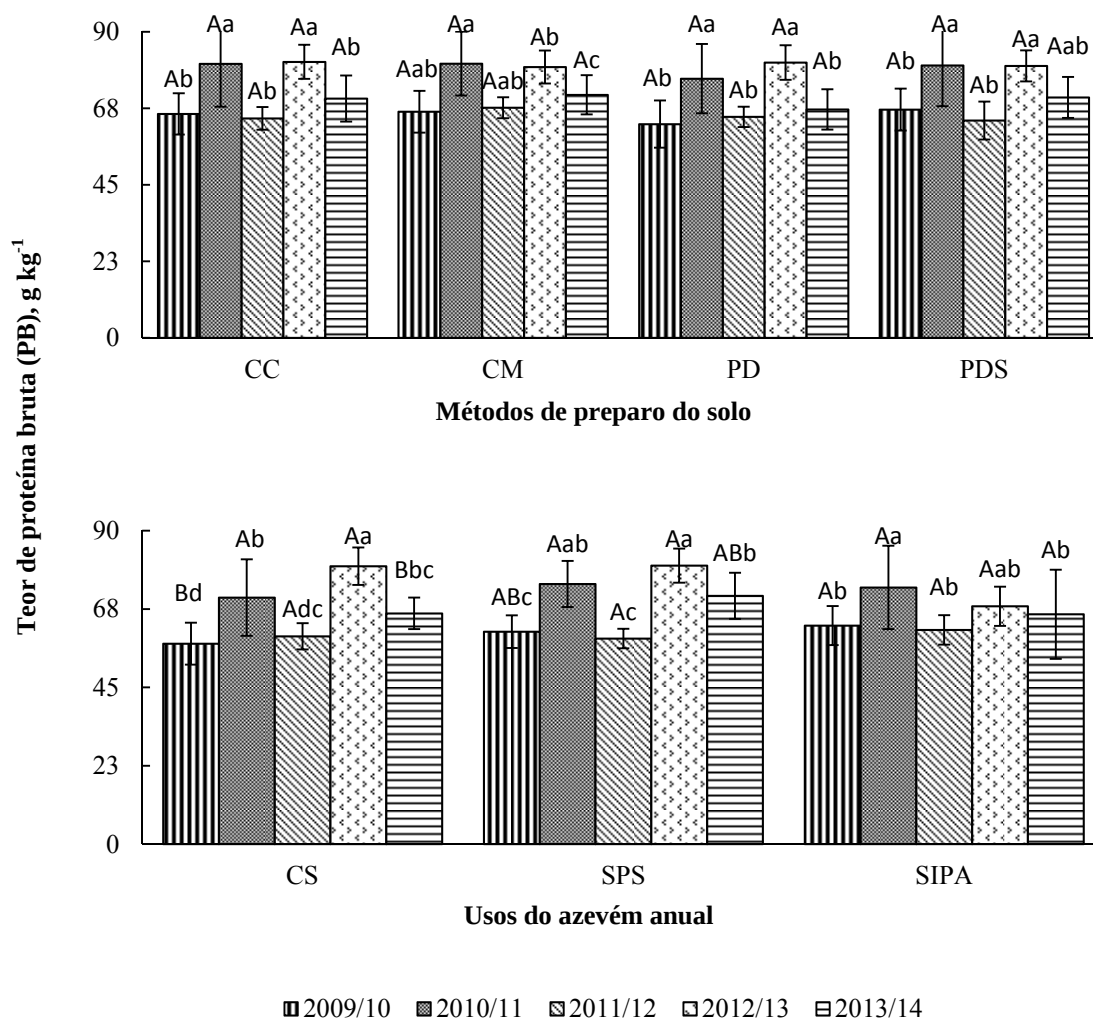


Figura 5. Teor de proteína bruta (PB) no milho silagem (g kg^{-1}) após calagem durante cinco períodos de cultivo de milho (safras 2009/10; 2010/11; 2011/12; 2012/13 e 2013/14) ($n = 12 \pm$ desvio padrão) em cada método de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS) e em cada propósito de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema de produção agropecuária – SIPA). Médias seguidas por letras iguais maiúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para métodos de preparo do solo e usos do azevém anual em cada período estudado. Médias seguidas por letras iguais minúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para períodos de cultivo do milho (safras) em cada método de preparo do solo e em cada uso do azevém anual.

Quando foi considerado o efeito dos períodos de cultivo do milho silagem nos usos de azevém anual (outono-inverno) maior incremento no teor de PB foi observado na safra 2012/13 para CS e, nas safras 2010/11, 2012/13 e 2013/14 para SPS. Esses fatos foram atribuídos a elevada precipitação pluvial (Tabela 1), durante o inverno de 2012 e na primavera-verão de 2012/13, favorecendo o desenvolvimento, decomposição e ciclagem de nutrientes do azevém anual destinado a CS e consequentemente, maior incremento no teor de PB no milho silagem. Além disso, maior incremento no teor de PB no milho silagem, nas safras 2010/11, 2012/13 e 2013/14, pode ser atribuído ao maior número de cortes para SPS (Tabela 2) de azevém anual, resultando em maior renovação aérea e radicular, aporte de fertilizante nitrogenado e ciclagem de nutrientes.

Considerando cada propósito de uso do azevém anual em cada método de preparo do solo apenas no SPD ocorreu diferenças entre os propósitos de uso do azevém anual estudados. Em SPD o uso de azevém anual para CS proporcionou menor teor de PB no milho silagem do que em SIPA, mas não diferiu de SPS (Figura 6a). E o azevém anual destinado a SPS e em SIPA não apresentaram diferenças entre si (Figura 6a). Levando em consideração cada método de preparo do solo em cada propósito de uso do azevém anual foi observada diferenças entre os métodos de preparo do solo apenas quando o azevém anual foi destinado a SIPA (Figura 6b). Em SIPA os métodos de preparo SCM, SPD e SPDS não diferiram entre si mas proporcionaram maior teor de PB no milho silagem do que SC (Figura 6b).

O uso de azevém anual em SIPA manteve o teor de PB no milho silagem, ao longo do tempo. Isso se deve ao fato de que, em SIPA, o animal que pasteja, atua como agente catalisador: (i) na renovação da parte aérea e radicular do azevém anual, (ii) na liberação de resíduos (fezes e urina), (iii) na dissolução do calcário, (iv) na ciclagem de nutrientes, em especial o N e, (v) aporte de N via fertilizante. Nesse contexto, os resultados serão

manutenção/incremento da qualidade (teor de PB) de MS de milho silagem cultivado em sequência ao azevém anual pastejado, em SIPA.

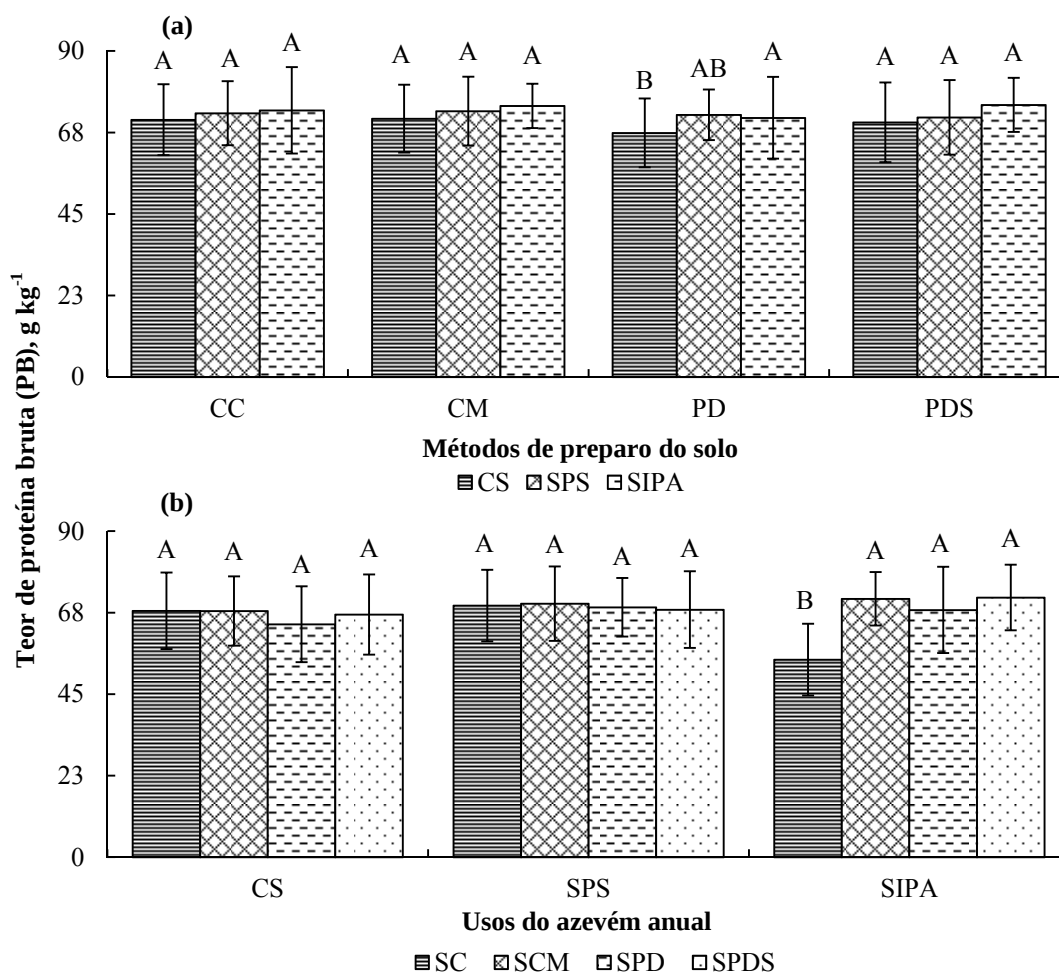


Figura 6. Teor de proteína bruta (PB) no milho silagem (g kg⁻¹) ($n = 20 \pm$ desvio padrão), após calagem, cultivado nas safras 2009/10; 2010/11; 2011/12; 2012/13 e 2013/14, dos propósitos de uso do azevém anual em cada método de preparo do solo (a) e dos métodos de preparo do solo em cada propósito de uso do azevém anual (b). Métodos de preparo do solo: cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS. Propósitos de uso do azevém anual: cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) dentro de cada método de preparo do solo e de cada propósito de uso do azevém anual.

4.6. Conclusões

O preparo do solo cultivo convencional aumenta o rendimento de matéria seca do milho silagem apenas no primeiro ano de estudo. No entanto, em médio prazo, o plantio direto mantém os rendimentos de MS e os teores de proteína bruta no milho silagem.

Os propósitos de uso do azevém anual – cultura antecessora ao milho – para silagem pré-secada e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária não influenciam o rendimento de MS, mas proporcionam incremento nos teores de proteína bruta no milho silagem. Portanto, o uso da cultura antecessora apenas como cobertura do solo proporciona menor quantidade de benefícios aos sistemas de produção de azevém anual e milho silagem quando comparados aos sistemas mais intensivos (silagem pré-secada e pastejo animal) adequadamente manejados.

A precipitação pluviométrica, a falta de leguminosas na rotação de culturas e a acidificação natural no sistema de produção, apresentam em médio prazo, maior influência no rendimento de matéria seca e teor de proteína bruta no milho silagem quando comparado aos métodos de preparo do solo e usos de azevém anual como cultura antecessora.

5. ACIDEZ E SATURAÇÃO POR BASES DO SOLO APÓS CALAGEM EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE AZEVÉM ANUAL E MILHO SILAGEM AO LONGO DO TEMPO

5.1. Resumo

O objetivo deste trabalho foi verificar, em médio prazo, os efeitos da calagem em sistemas de produção com azevém anual e milho silagem sobre as mudanças na acidez e saturação por bases do solo (V). O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas com quatro repetições. As parcelas consistiram em quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS). Nas subparcelas foram estudados três propósitos de uso do azevém anual: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA). Após o manejo da fitomassa do azevém anual com herbicida procedeu à semeadura do milho. Depois de realizado o corte do milho com a ensiladeira, foi retirado amostras de solo das camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm, aos 24 e 60 meses após a aplicação do calcário. Foram avaliados os atributos acidez ativa (pH), potencial (H+Al) e trocável (Al^{3+}) e V. No decorrer do período, menor acidez e maior V foram observadas na camada de 0-5 cm no PD. Quando comparado ao PD, o PDS não proporcionou melhoria nas condições de acidez e V. O azevém anual destinado à SPS e SIPA proporcionou, ao longo do tempo, diminuição da acidez do solo nas camadas abaixo de 10 cm de profundidade. O PD aliado ao SIPA proporciona melhoria nas condições de acidez do solo após 60 meses da aplicação do calcário.

Palavras-chave: *Zea mays* L., *Lolium multiflorum* Lam., reação no solo, preparo do solo, agricultura conservacionista, sistema integrado de produção agropecuária

Acidity and saturation bases of soil after liming in production systems of annual ryegrass and corn silage along the time

5.2. Abstract

In this work was evaluated, in medium-term, the effects of liming in production systems with annual ryegrass and maize silage on changes acidity and base saturation (V) soil. The experimental design was a randomized block in a split plot with four replications. In the plots were studied four methods of soil tillage: conventional tillage (CC), minimum tillage (MT), no-tillage (NT) and chiseled no-tillage (CNT). In the subplots were studied three purposes of use of annual ryegrass: cover crop (CC), silage (S) and grazing the dairy heifers in integrated crop-livestock (ICL). After managed annual ryegrass with herbicide we sowed maize. After cutting of maize with the shredder, soil samples were taken from 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 and 20-30 cm layers after 24 and 60 months of liming application. The attributes active acidity (pH), potential (H+Al) and exchangeable (Al³⁺), and V were performed. Along the time, lower acidity and higher V were observed in 0-5 cm layer under NT. No amelioration of soil acidity and V was observed in CNT when compared to NT. The annual ryegrass cropped for silage and ICL resulted along the time lower soil acidity below 10 cm depth. ICL under NT promote amelioration of soil acidity after 60 months of liming.

Keywords: *Zea mays* L., *Lolium multiflorum* Lam, soil acidification, integrated systems, soil tillage, limestone.

5.3. Introdução

Na região dos Campos Gerais (Paraná – Brasil), as propriedades têm atividades agrícolas e zootécnicas e normalmente cultivam milho para silagem, durante primavera-verão, e azevém anual, durante o outono-inverno. O milho serve para manter a oferta de volumoso (KLOPFENSTEIN et al., 2013) na propriedade, e o azevém anual, para fornecer biomassa suficiente para alimentação animal – silagem pré-secada e pastejo – além de favorecer a manutenção do plantio direto (PD) (BOLLIGER et al., 2006). No entanto, poucos trabalhos abordam os efeitos dos sistemas de produção de milho silagem e azevém anual na variação da acidez e saturação por bases (V) do solo, em médio prazo.

Sistemas modernos incluem práticas agrícolas e zootécnicas de forma integrada e sustentável. Nesse contexto, o sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) quando aliado ao PD proporcionam intensa produção de alimentos de forma sustentável (MORAES et al., 2014), favorecem a ciclagem de nutrientes e melhoria do solo (SALTON et al., 2014); e mantém elevados rendimentos das culturas (BALBINOT JR et al., 2009). No entanto, nos SIPA, o processo de acidificação do solo pode ocorrer devido à intensa exploração da terra (BOLAN et al., 2008), ao longo do tempo. Portanto, adequado manejo e controle da acidez do solo é fundamental para almejar a agricultura sustentável (KIRKHAM et al., 2014).

O processo de acidificação do solo pode ocorrer devido aos seguintes fatores: (i) à precipitação, (ii) lixiviação de cátions básicos (cálcio – Ca^{2+} , magnésio – Mg^{2+} , potássio – K^{+} e sódio – Na^{+}), (iii) absorção e (iv) exportação destes cátions pelas culturas, (v) reações de hidrólise no plasma argilo-húmico, (vi) adição de sais solúveis e (vii) fertilizantes (minerais e orgânicos) no sistema solo-planta (HAVLIN et al., 2014; NAGY & KÓNYA, 2007). Além disso, em SIPA, podem ser adicionadas a esses fatores: (viii) a liberação de prótons (H^{+}) devida à intensa renovação da parte aérea e radicular da forrageira (BOLAN & HEDLEY, 2003) e (ix) a presença do componente animal (MARTINS et al., 2014). Deste modo, os fatores que podem acelerar a acidificação são os mesmos que atuam de modo a favorecer a

dissolução do corretivo no solo. A melhor estratégia para correção do solo é a aplicação de corretivos, os quais reduzem os efeitos da acidificação e proporcionam condições economicamente favoráveis à produção de grãos e animais (BOLAN et al., 2008). Deste modo, em SIPA, espera-se que os resíduos vegetal e animal e os métodos de preparo do solo atuem como agentes catalisadores na dissolução do calcário e no efeito residual do corretivo no solo.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi verificar, em médio prazo, os efeitos da calagem em sistemas de produção com azevém anual e milho silagem sobre as mudanças na acidez ativa (pH), potencial ($H+Al$) e trocável (Al^{3+}) e V até a profundidade de 30 cm do solo.

5.4. Material e métodos

O experimento foi instalado em área agropecuária cedida pela Cooperativa Castrolada a Fundação ABC em Castro - Paraná (latitude: 24°47'53"; longitude: 49°57'41" e altitude média: 997 m), sob Latossolo Bruno argiloso (EMBRAPA, 2006). O clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen, é o do tipo Cfb – caracterizado por apresentar temperatura amena, geadas e sem estação seca definida.

A área experimental era cultivada em plantio direto (PD) há mais de 10 anos utilizando as culturas soja (*Glycine Max* L. Merrill) e milho (*Zea mays* L.) durante primavera-verão e trigo (*Triticum aestivum* L.) e aveia preta (*Avena strigosa* L.) durante outono-inverno. A sucessão entre azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e milho ocorreu durante os anos de 2006-08, sob PD.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos ao acaso em parcelas subdivididas com quatro repetições, durante os anos de 2009-14. Nas parcelas (300 m²) foram estudados quatro métodos de preparo do solo: (i) cultivo convencional (CC); (ii) cultivo mínimo (CM); (iii) PD e (iv) PD com subsolagem bianual (PDS). No CC e CM, o solo foi preparado anualmente antes do cultivo do azevém anual com arado e grade aradora com

profundidade média de 0,20 e 0,10 m, respectivamente. No PD houve revolvimento do solo apenas no sulco de semeadura/adubação, e no PDS, o solo foi escarificado com profundidade média de 0,30 m, aos 0, 24 e 48 meses após a calagem. Nas subparcelas (100 m²) foram estudados três propósitos de uso do azevém anual durante o outono-inverno: (a) como planta de cobertura do solo (CS); (b) para produção de silagem pré-secada (SPS) e (c) como forrageira para pastejo animal se enquadrando como sistema integrado de produção agropecuária (SIPA). O azevém anual cultivado em SIPA foi pastejado por novilhas da raça Holandesa (carga animal média: 1200 kg ha⁻¹), antecedendo o cultivo de milho na primavera-verão.

Por ocasião da calagem, o solo apresentava na camada de 0-20 cm, os seguintes atributos (determinado conforme: Pavan et al. (1992), Cantarella et al. (2001) e EMBRAPA (1997)): 4,5 de pH (CaCl₂); 107,0; 6,0; 29,0; 11,0; 3,6; e 151,0 mmol_c dm⁻³ de H+Al, Al, Ca, Mg, K e capacidade de troca catiônica (CTC), respectivamente; 20,9 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1); 26,5 g dm⁻³ de C orgânico (método Walkey-Black); e 29 % de saturação por bases (V); 463,5; 370,5 e 166,0 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente.

A correção da acidez do solo foi realizada mediante aplicação de 8,36 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico em março de 2009. A dose do corretivo objetivou elevar a V para 70% – valor considerado mais adequado para sistemas de produção de milho (CAIRES et al., 2005). O corretivo utilizado apresentava 150; 250 e 740 g kg⁻¹ de óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO) e poder relativo de neutralização total (PRNT), respectivamente. De acordo com o preparo do solo (tratamento principal) o contato do solo com o corretivo foi ou não mais íntimo e eficiente.

No decorrer deste estudo, os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar foram de 17,4°C e 87,8%, respectivamente; quanto às precipitações, estas podem ser observadas na Figura 7.

A sequência de eventos e o aporte de nutrientes nas culturas do azevém anual e milho silagem, cultivadas no decorrer do período estudado, podem ser observadas nas Tabelas 2 e 3, respectivamente, do capítulo anterior.

Após o corte do milho com ensiladeira, amostras de solo foram retiradas das camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm com trado calador, 24 e 60 meses após a calagem. Foram coletadas 12 amostras simples para compor uma amostra composta por camada e por parcela. Essas amostras foram levadas ao laboratório, secas em estufa a 40°C com circulação forçada de ar, moídas e peneiradas em peneira de malha de 2,0 mm. Na sequência foram determinados os atributos: acidez ativa (pH), potencial (H+Al) e trocável (Al^{3+}), e os teores de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^{+}) trocáveis para a obtenção dos valores de V, empregando os métodos sugeridos por Pavan et al. (1992).

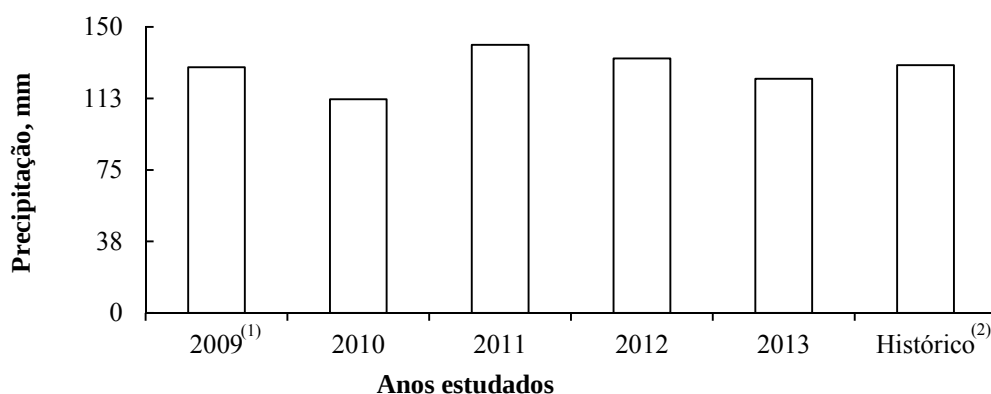


Figura 7. Precipitação (mm) média em cada ano estudado, medida no sistema de monitoramento agrometeorológico da Fundação ABC (SMA), localizada no município de Castro-PR, a cerca de 7000 m da área experimental. ⁽¹⁾ O calcário foi aplicado na última semana de março/2009; ⁽²⁾ Média histórica dos últimos 40 anos.

Todos os resultados foram submetidos ao teste de esfericidade e verificou-se que os mesmos atenderam a condição H-F (HUYNH & FELDT, 1970; FERNANDEZ, 1991), que possibilitou realizar estatística univariada para cada atributo estudo, em cada camada (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm). Foi sugerida a utilização de transformações para raiz quadrada aos dados referentes as concentrações de H+Al, na camada de 0-5 cm, e de V, na camada de 15-20 cm, também foi sugerida a transformação para log nos dados referentes as

concentrações de H+Al, nas camadas de 10-15 e 15-20 cm, e de V, na camada de 20-30 cm. No modelo estatístico foram consideradas os fatores: quatro tratamentos principais (métodos de preparo do solo: CC, CM, PD e PDS), três tratamentos secundários (diferentes propósitos de uso do azevém anual: CS, SPS e SIPA) e dois períodos de avaliação dos atributos químicos do solo (24 e 60 meses após a calagem). Na ausência de interação significativa foram consideradas: (i) como repetições de métodos de preparo do solo: blocos, propósitos de uso do azevém anual e períodos de avaliação dos atributos químicos do solo; (ii) como repetições de propósitos de uso do azevém anual: blocos, métodos de preparo do solo e períodos de avaliação dos atributos químicos do solo; e (iii) como repetições de períodos de avaliação dos atributos químicos do solo: blocos, métodos de preparo do solo e propósitos de uso do azevém anual. Nos casos de F significativo ($P < 0,05$), as médias foram comparadas mediante o emprego do teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) (Anexos B, C e D). Todas as análises estatísticas foram realizadas mediante o uso do programa de computador SAS Versão 9.2 (SAS, 2004).

5.5. Resultados e discussão

5.5.1. Resultados

Foram observadas interações entre métodos de preparo do solo, propósitos de uso de azevém anual e períodos de avaliação dos atributos acidez ativa, potencial e trocável e saturação por bases (V) nas cinco camadas estudadas (Tabelas 4 e 5). Considerando a média dos dois períodos de avaliação dos atributos químicos (aos 24 e 60 meses após a calagem), o método de preparo CC, na camada de 0-5 cm, aumentou a acidez ativa (Figura 8), potencial (Figura 9) e trocável (Figura 10) e diminuiu a V (Figura 11). O CC e CM apresentaram valores similares para os atributos estudados. Os métodos de preparo do solo CM e o PDS também apresentaram menor acidez ativa (Figura 8), potencial (Figura 9), o CM apresentou menor acidez trocável (Figura 10) e maior V (Figura 11) na camada de 5-10 cm. O CC e CM

na camada de 10-15 cm apresentaram menor acidez ativa (Figura 8), potencial (Figura 9) e trocável (Figura 10) e maior V (Figura 11). O método de preparo PD reduziu a acidez ativa (Figura 8) e trocável (Figura 10) e aumentou V (Figura 11) na camada de 0-5 cm, e nas demais camadas, este método apresentou maior acidez ativa (Figura 8) e trocável (Figura 10) e menor V (Figura 11). Entretanto, o PD e PDS, nas camadas de 10-15, 15-20 e 20-30 cm, não foram diferentes quanto ao valor de acidez ativa (Figura 8). Ainda, os métodos de preparo do solo estudados, na camada de 20-30 cm, não apresentaram diferenças no valor de acidez potencial (Figura 9).

Tabela 4. Valores de F referentes aos atributos acidez ativa (pH), potencial (H+Al) e trocável (Al^{+3}) e saturação por bases (V) do solo, após 24 e 60 meses da calagem.

Fator de variação	Camadas do solo (cm)				
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-30
Acidez ativa (pH)					
TP ¹	39,23**	22,07**	67,98**	20,87**	8,50**
TS ²	10,32**	5,17**	3,16*	4,10*	4,89*
Períodos ³	0,17 ^{NS}	11,58**	42,00**	8,84**	16,38**
TP x TS	0,98 ^{NS}	0,80 ^{NS}	1,05 ^{NS}	0,41 ^{NS}	1,16 ^{NS}
TP x Períodos	8,00**	9,43**	4,68**	1,03 ^{NS}	0,44 ^{NS}
TS x Períodos	3,74*	2,55 ^{NS}	0,75 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,02 ^{NS}
TPxTSxPeríodos	0,55 ^{NS}	0,56 ^{NS}	0,23 ^{NS}	0,73 ^{NS}	0,52 ^{NS}
Acidez potencial (H+Al)					
TP ¹	31,88**	30,13**	46,09**	28,57**	2,68 ^{NS}
TS ²	22,53**	4,13*	2,30 ^{NS}	3,85*	1,02 ^{NS}
Períodos ³	63,01**	123,72**	212,88**	167,75**	164,59**
TP x TS	0,58 ^{NS}	0,22 ^{NS}	0,66 ^{NS}	0,89 ^{NS}	0,36 ^{NS}
TP x Períodos	7,00**	5,78**	3,84*	1,62 ^{NS}	0,09 ^{NS}
TS x Períodos	7,05**	1,07 ^{NS}	0,48 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,53 ^{NS}
TPxTSxPeríodos	0,70 ^{NS}	0,70 ^{NS}	0,24 ^{NS}	0,31 ^{NS}	0,08 ^{NS}
Acidez trocável (Al^{+3})					
TP ¹	50,52**	59,70**	27,72**	11,52**	4,44*
TS ²	2,91 ^{NS}	10,44**	4,48*	2,96 ^{NS}	4,39*
Períodos ³	161,50**	5,55*	6,23*	0,17 ^{NS}	3,88 ^{NS}
TP x TS	7,89**	15,18**	1,40 ^{NS}	2,23 ^{NS}	2,20 ^{NS}
TP x Períodos	13,55**	33,22**	7,14**	0,74 ^{NS}	1,87 ^{NS}
TS x Períodos	1,50 ^{NS}	9,24**	4,00*	3,74*	1,17 ^{NS}
TPxTSxPeríodos	6,46**	10,31**	1,80 ^{NS}	0,64 ^{NS}	3,16*
Saturação por bases (V)					
TP ¹	33,15**	79,43**	100,49**	33,27**	3,20 ^{NS}
TS ²	11,03**	1,06 ^{NS}	1,73 ^{NS}	1,25 ^{NS}	1,85 ^{NS}
Períodos ³	20,70**	103,32**	253,65**	154,25**	131,98**
TP x TS	0,44 ^{NS}	1,27 ^{NS}	0,87 ^{NS}	1,13 ^{NS}	0,69 ^{NS}
TP x Períodos	9,42**	9,72**	3,86*	1,26 ^{NS}	0,11 ^{NS}
TS x Períodos	1,12 ^{NS}	0,01 ^{NS}	1,47 ^{NS}	1,18 ^{NS}	0,59 ^{NS}
TPxTSxPeríodos	0,72 ^{NS}	1,35 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,37 ^{NS}	0,86 ^{NS}

(¹) TP: quatro métodos de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS); (²) TS: três propósitos de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA); (³) Períodos de avaliação dos atributos químicos do solo: 24 e 60 meses após a calagem. **: P < 0,05. *: P < 0,01. NS: não significativo.

Tabela 5. Valores de F referentes ao desdobramento das interações dos atributos acidez ativa (pH), potencial (H+Al) e trocável (Al³⁺) e saturação por bases (V) das camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm do solo, após 24 e 60 meses da calagem.

Fator de variação		Camadas (cm)				
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-30
		Acidez ativa (pH)				
TP ⁽¹⁾ x Períodos ⁽³⁾	CC	11,81**	1,86 ^{NS}	11,47**	-	-
	CM	3,37 ^{NS}	0,08 ^{NS}	66,29**	-	-
	PD	33,83**	9,11*	14,39**	-	-
	PDS	0,19 ^{NS}	41,55**	191,56**	-	-
	24 meses	3,06 ^{NS}	19,55**	46,47**	-	-
	60 meses	54,47**	14,96**	45,22**	-	-
TS ⁽²⁾ x Períodos	CS	11,63**	-	-	-	-
	SPS	3,55 ^{NS}	-	-	-	-
	SIPA	0,35 ^{NS}	-	-	-	-
	24 meses	3,48 ^{NS}	-	-	-	-
	60 meses	26,03**	-	-	-	-
		Acidez potencial (H+Al)				
TP x Períodos	CC	3,09 ^{NS}	12,67**	106,25**	-	-
	CM	21,94**	57,02**	212,36**	-	-
	PD	118,32**	121,76**	77,25**	-	-
	PDS	30,42**	139,20**	234,81**	-	-
	24 meses	2,35 ^{NS}	29,74**	19,23**	-	-
	60 meses	44,00**	13,85**	38,18**	-	-
TS x Períodos	CS	112,24**	-	-	-	-
	SPS	8,93*	-	-	-	-
	SIPA	38,33**	-	-	-	-
	24 meses	7,19*	-	-	-	-
	60 meses	54,00**	-	-	-	-
		Acidez trocável (Al³⁺)				
TP x TS	CC	25,21**	1,89 ^{NS}	-	-	-
	CM	5,11*	0,48 ^{NS}	-	-	-
	PD	2,49 ^{NS}	22,05**	-	-	-
	PDS	11,39**	98,74**	-	-	-
	CS	3,63 ^{NS}	83,79**	-	-	-
	SPS	33,47**	6,18*	-	-	-
	SIPA	38,50**	32,97**	-	-	-
TP x Períodos	CC	159,40**	81,92**	11,19**	-	-
	CM	58,28**	8,03*	1,37 ^{NS}	-	-
	PD	6,79*	114,75**	18,60**	-	-
	PDS	85,64**	45,37**	25,73**	-	-
	24 meses	3,32 ^{NS}	76,47**	38,83**	-	-
	60 meses	59,92**	49,81**	6,92*	-	-
TS x Períodos	CS	-	51,47**	0,00 ^{NS}	2,91 ^{NS}	-
	SPS	-	0,02 ^{NS}	0,53 ^{NS}	0,01 ^{NS}	-
	SIPA	-	1,42 ^{NS}	28,37**	1,24 ^{NS}	-
	24 meses	-	1,74 ^{NS}	12,91**	1,91 ^{NS}	-
	60 meses	-	41,93**	4,29*	1,77 ^{NS}	-
TPxTSxPeríodos	CC	28,49**	7,72**	-	-	0,32 ^{NS}
	CM	9,20**	0,91 ^{NS}	-	-	1,87 ^{NS}
	PD	1,68 ^{NS}	13,41**	-	-	6,55**
	PDS	14,89**	29,07**	-	-	3,12*
	CS	6,14**	26,39**	-	-	6,26**
	SPS	18,00**	6,69**	-	-	1,75 ^{NS}
	SIPA	25,73**	8,93**	-	-	1,42 ^{NS}
	24 meses	0,62 ^{NS}	9,54**	-	-	2,83**
	60 meses	17,37**	17,91**	-	-	3,24**
		Saturação por bases (V)				
TP x Períodos	CC	0,60 ^{NS}	7,82*	112,71**	-	-
	CM	1,23 ^{NS}	47,89**	261,14**	-	-
	PD	60,94**	210,05**	159,23**	-	-
	PDS	7,70*	254,96**	364,93**	-	-
	24 meses	3,43 ^{NS}	87,66**	57,88**	-	-
	60 meses	43,28**	29,61**	54,29**	-	-

(¹) TP: quatro métodos de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS); (²) TS: três propósitos de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA); (³) Períodos de avaliação dos atributos químicos do solo: 24 e 60 meses após a calagem. **; P < 0,05. *: P < 0,01. NS: não significativo. Foi preenchida com traço (-) a ausência de interação significativa.

O propósito de uso do azevém anual para cobertura do solo (CS) resultou, na camada de 0-5 cm, menor acidez ativa (Figura 8), potencial (Figura 9) e maior V (Figura 11). Nessa mesma camada, os valores de acidez trocável (Figura 10) foram semelhantes para azevém anual destinado a CS e a SPS. Os propósitos de uso do azevém anual não apresentaram diferenças para (i) acidez ativa (Figura 8) e potencial (Figura 9) na camada de 10-15 cm, (ii) acidez potencial (Figura 9) e trocável (Figura 10) na camada de 15-20 cm e (iii) valores de V nas camadas 5-10, 10-15, 15-10 e 20-30 cm (Figura 11). O azevém anual destinado a SPS e a SIPA apresentaram valores similares de acidez ativa (Figura 8), potencial (Figura 9), trocável (Figura 10) e V (Figura 11) até 10 cm de profundidade, de acidez potencial (Figura 9) na camada de 20-30 cm, de acidez trocável (Figura 10) na camada de 15-20 cm, e de V (Figura 11) a partir de 15 cm de profundidade. Ainda, o azevém anual destinado a SPS apresentou maior acidez ativa (Figura 8) a partir de 15 cm de profundidade, maior acidez potencial (Figura 9) na camada de 15-20 cm e maior acidez trocável (Figura 10) nas camadas de 10-15 e 20-30 cm.

Comparando os efeitos ao longo do tempo (Figura 12), nota-se que a acidez ativa não foi alterada na camada de 0-5 cm, mas aumentada nas demais camadas estudadas aos 60 meses após a calagem. Menor acidez potencial e maior V foram observadas em todas as camadas estudadas aos 60 meses após a calagem. Quanto à acidez trocável, esta foi, no decorrer do experimento, aumentada até 10 cm de profundidade, não alterada na camada de 15-20 cm e diminuída nas camadas de 10-15 e 20-30 cm.

Levando-se em consideração os métodos de preparo do solo em cada período de avaliação, após 24 meses da calagem os métodos CC e CM não apresentaram diferenças nos valores de (i) acidez ativa (Figura 13) nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15 e 20-30 cm; (ii) acidez potencial (Figura 14) nas camadas de 0-5, 5-10 e 20-30 cm; (iii) acidez trocável (Figura 15) nas camadas de 5-10, 10-15 e 15-20 cm; e (iv) V (Figura 16) nas camadas de 0-5, 5-10 e 20-

30 cm. Os métodos de preparo CM, PD e PDS não apresentaram diferenças para acidez ativa (Figura 13), potencial (Figura 14) e V (Figura 15) na camada de 15-20 cm. Tanto PD quanto PDS apresentaram maior acidez potencial (Figura 14) e menor V (Figura 16) na camada de 10-15 cm. A acidez trocável (Figura 15) no CC foi maior e menor nas camadas de 0-5 e 20-30 cm, respectivamente; ainda nestas camadas, os valores de acidez trocável (Figura 15) não foram diferentes para CM, PD e PDS.

Aos 60 meses após a calagem, o CC apresentou aumento da acidez ativa (Figura 13), potencial (Figura 14) e trocável (Figura 15) e redução da V (Figura 16) na camada de 0-5 cm. Na camada de 0-5 cm o PD diminuiu a acidez ativa (Figura 13) e trocável (Figura 15) e não foi diferente de PDS nos valores de acidez potencial (Figura 14) e V (Figura 16). Nas demais camadas estudadas, o PD aumentou a acidez ativa (Figura 13), potencial (Figura 14) e trocável (Figura 15) e diminuiu a V (Figura 16). O CM e PDS apresentaram valores similares de acidez ativa (Figura 13), potencial (Figura 14) e trocável (Figura 15) e V (Figura 16) em todas as camadas estudadas, exceto de 5-10 cm, na qual CM e PD apresentaram menor acidez trocável (Figura 15).

Considerando o efeito dos períodos de avaliação nos atributos químicos e métodos de preparo do solo, nota-se que o PD apresentou, aos 60 meses após a calagem, menor acidez ativa (Figura 13) e potencial (Figura 14) na camada de 0-5 cm, e menor acidez trocável (Figura 15) na camada de 5-10 cm. Os métodos de preparo do solo não apresentaram diferenças entre os períodos avaliados na camada de 0-5 cm, mas ocasionaram, aos 60 meses após a calagem, menor acidez ativa (Figura 13) e potencial (Figura 14) nas camadas de 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm. No entanto, a partir de 5 cm de profundidade maior V (Figura 16) foi observada aos 60 meses após a calagem, para todos os métodos estudados.

Comparando-se os propósitos de uso do azevém anual em cada período de avaliação, nota-se que o azevém anual destinado a CS proporcionou maior acidez ativa (Figura 13) e

menor V (Figura 16) na camada de 0-5 cm, após 24 meses da calagem. Os valores de V (Figura 16) não foram diferentes entre os propósitos de uso do azevém anual nas camadas de 5-10, e 15-20 cm. Após 24 meses da calagem o azevém anual destinado a SIPA na camada de 10-15 cm apresentou menor V e na camada de 20-30 cm o azevém anual destinado a CS e a SIPA foram semelhantes entre si, mas proporcionaram menores valores V. Os propósitos de uso do azevém anual não alteraram, ao longo do tempo, a acidez potencial (Figura 14) nas camadas de 5-10, 10-15 e 20-30 cm, entretanto, maior acidez potencial (Figura 14) nas camadas 0-5 e 15-20 cm foi observada em SIPA. O azevém anual destinado a SPS e CS diminuíram a acidez trocável (Figura 15) na camada de 10-15 cm, ainda o azevém anual destinado a SPS diminuiu a acidez trocável (Figura 15) na camada de 20-30 cm, e nas demais camadas estudadas, os propósitos de uso do azevém anual proporcionaram resultados semelhantes.

Aos 60 meses após calagem, os usos do azevém anual foram semelhantes, na camada de 0-5 cm, proporcionando menor acidez ativa (Figura 13) e potencial (Figura 14), e maior V (Figura 16). Também não foi observada, na camada de 0-5 cm, diferenças nos valores de acidez trocável (Figura 15) decorrente dos propósitos de usos de azevém anual. Ainda, os propósitos de uso do azevém anual estudados não apresentaram diferenças nos valores de acidez ativa (Figura 13) e potencial (Figura 14) na camada de 10-15 cm, e não apresentaram diferenças nos valores de V (Figura 16) nas camadas de 5-10, 10-15, 15-20 e 20-30 cm. O azevém anual destinado a SPS diminuiu a acidez trocável (Figura 15) nas camadas de 5-10 e 10-15 cm.

Considerando o efeito dos períodos de avaliação dos atributos químicos e propósitos de uso de azevém anual, foram verificados que o azevém anual destinado a CS proporcionou, aos 60 meses após a calagem, diminuição da acidez ativa (Figura 13) e potencial (Figura 14) em todas as camadas estudadas. O azevém anual destinado a SPS e SIPA, ao longo do tempo,

não ocasionou alteração na acidez ativa (Figura 13), mas diminuiu a acidez potencial (Figura 14) em todas as camadas estudadas. Todos os usos de azevém anual foram eficientes na diminuição da acidez trocável (Figura 15) na camada de 0-5 cm após 24 meses da calagem, mas não apresentaram diferenças entre os períodos de avaliação para as demais camadas. Os propósitos de uso do azevém anual, aos 60 meses após a calagem, resultaram em aumento da V (Figura 16) nas camadas estudadas, exceto na camada 0-5 cm, na qual o uso de azevém anual para SPS não apresentou diferença entre os períodos avaliados.

Considerando cada uso do azevém anual em cada método de preparo do solo pode ser observado que não há diferença entre os usos de azevém anual em todos os métodos de preparo do solo e em todas as camadas estudadas quanto a acidez ativa (Figura 17). No entanto, apenas na camada de 0-5 cm há diferença entre os usos de azevém anual nos métodos CC e PDS e em CM e PD os usos de azevém anual para SPS e em SIPA foram semelhantes quanto a acidez potencial (Figura 18). Os métodos de preparo CM e PDS não apresentaram diferenças entre os usos de azevém anual na camada de 0-5 cm para acidez trocável (Figura 19). Ainda nessa camada, no CC os usos de azevém anual para SPS e SIPA proporcionaram maior acidez trocável seguido de CS e em PD os usos de azevém anual CS e SIPA apresentaram maior acidez trocável (Figura 19). Na camada de 5-10 cm nos métodos de preparo do solo CC e PD não foi observada diferenças entre os usos de azevém anual (Figura 19) e ainda nessa camada, em CM e PDS os usos de azevém anual SPS e CS proporcionaram maior acidez trocável, respectivamente (Figura 19). Nas camadas de 10-15 e 15-20 cm não houve diferença entre os usos de azevém anual em todos os métodos estudados, exceto na camada 15-20 cm em PDS com azevém anual destinado a SPS (Figura 19). Já na camada de 20-30 cm nos métodos de preparo do solo CC e CM não há diferenças entre os usos de azevém anual, no entanto, em PD e PDS maior e menor acidez trocável foi proporcionada

pelos usos de azevém anual SIPA e SPS, respectivamente (Figura 19). Apenas na camada de 0-5 cm em CC o uso de azevém anual para CS proporcionou maior V (Figura 20).

Considerando cada uso método de preparo do solo em cada propósito de uso do azevém anual pode ser observado que na camada de 0-5 cm em todos os usos de azevém anual foi observada maior acidez ativa em CM e PDS (Figura 17). Nas camadas de 5-10, 10-15 e 15-20 cm para o uso de azevém anual como CS e SIPA não há diferença entre CC, CM e PDS, e CM, PD e PDS, respectivamente (Figura 17). Quanto a acidez potencial na camada de 0-5 cm nos usos de azevém anual CS e SIPA não foram observadas diferenças entre os métodos CC, PDS e PD, mas inferiores a CC (Figura 18). Já na camada de 5-10 cm apenas no uso de azevém anual para SPS os métodos de preparo do solo PD, CC e PDS foram semelhantes (Figura 18). Nas camadas de 10-15 e 15-20 cm quando o azevém anual foi destinado a CS houve maior acidez potencial quando utilizado os métodos PD e PDS seguidos de CM e CC e apenas na camada de 10-15 cm quando utiliza o azevém anual para SPS e SIPA foram observadas maior acidez potencial em PD e menor acidez potencial em CC, respectivamente (Figura 18). Na camada de 0-5 cm quando em SPS e SIPA foi observada menor e maior acidez trocável em PD e CC, respectivamente (Figura 19). Nas camadas de 5-10, 10-15 e 15-20 cm no uso de azevém anual para CS e SIPA maior acidez trocável foi observada em PD e PDS seguido de CC e CM (Figura 19). Na camada de 20-30 cm nos usos de azevém anual para SPS e SIPA maior acidez trocável foi observada em PD seguida de CM, PDS e CC (Figura 19). Aumento na V foram observadas em PD e PDS seguidos de CM e CC no azevém anual destinado a CS e SIPA e no azevém anual para SPS redução da V em CC na camada de 0-5 cm (Figura 20). Na camada de 5-10 cm quando o azevém destinado a CS foi observada maior V em CC e CM seguido de PDS e PD, e o azevém anual destinado a SPS e SIPA aumento na V foi observado em CM e PDS seguidos de CC e CM (Figura 20). Nas

camadas de 10-15 e 15-20 cm para todos os usos de azevém anual foi observados aumento da V em CM e CC seguidos de PDS e PD (Figura 20).

5.5.2. Discussão

5.5.2.1. Alterações na acidez do solo

A dinâmica e a variabilidade da acidez do solo tendem a persistir na agricultura por centenas de anos (FRASER & SCOTT, 2011). Particularmente, em sistemas de produção que utilizam pastagens, culturas de grãos e/ou para silagem e fertilizantes nitrogenados, como em SIPA, a acidificação do solo é contínua, tanto durante quanto após a calagem (BOLLAND & RUSSEL, 2010; NOBLE et al., 2008). Em especial, a acidez trocável é o principal fator limitante em solos ácidos para o incremento de rendimento de plantas (FRANKOWSKI et al., 2010; FRANKOWSKI et al., 2013). Portanto, a calagem ao reduzir a acidez do solo ativa, potencial e trocável e incrementar os valores de saturação por bases (V) pode aumentar os rendimentos da forrageira, durante outono-inverno, e das culturas de grãos ou silagem, durante primavera-verão.

Em curto prazo os métodos de preparo que revolvem o solo, como o CC, são eficientes na diminuição da acidez em profundidade (0-20 cm). Falleiro et al. (2003) também observaram redução da acidez em camadas mais profundas (> 20 cm) ao revolverem o solo com calcário. Neste trabalho, o revolvimento do solo pode ter favorecido a migração física do calcário e incorporação do material orgânico até a profundidade de 30 cm do solo, diminuindo a acidez ativa, potencial e trocável; entretanto, trata-se de uma prática não adequada à agricultura conservacionista, devido às perdas de carbono do solo (FREIXO et al., 2002). Em médio prazo – período compreendido entre 5 e 25 anos (MITCHEL et al., 1991), o PD controlou a acidez do solo na camada superficial (0-5 cm) – justamente onde concentra-se a

maior parte do sistema radicular das culturas (FANTE Jr. et al., 1994). Esse fato pode ser devido ao incremento de tamponantes oriundos do maior aporte de material orgânico e/ou força iônica da solução do solo devido ao aumento dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} advindos do calcário (CADAVID et al., 1998; FRANCHINI et al., 1999). Além disso, PD e PDS não apresentaram diferenças quanto aos valores de acidez do solo, indicando que a subsolagem pode ser desprezível em solo com alto teor de matéria orgânica como ao do presente estudo.

O azevém anual quando destinado a SPS e em SIPA podem liberar compostos orgânicos devido a intensa exploração da parte aérea e radicular de maneira homogênea e constante, com o passar do tempo. Jandl et al. (2015) observaram que o azevém perene (*Lolium perenne* L.) pode liberar compostos orgânicos até a profundidade de 30 cm do solo (cerca de $20 \mu\text{g g}^{-1}$ de lipídios alifáticos). Cassiolato et al. (2000), em um solo de carga variável, observaram efeitos do calcário até a profundidade de 25 cm com a presença de resíduos orgânicos de aveia preta (*Avena strigosa*). Carvalho et al. (2011) também observaram mudanças na acidez ativa devido a intensa produção de raízes e exsudados de forrageiras pastejadas. Quando se utiliza azevém anual em SIPA, o incremento de material orgânico no solo oriundo de resíduos de plantas e animais (fezes e urinas) podem liberar compostos orgânicos (grupos carboxílico e fenólico) (KOCHIAN, 1995; MA et al., 2001; BAZIRAMAKENGA & SIMARD, 1998). Esses resíduos podem complexar o Al^{3+} e também, complexar Ca e Mg, facilitando a redistribuição de cátions e redução da acidez do solo (MIYAZAWA et al., 1993). Portanto, ao longo do tempo, em SIPA aliado ao PD, a dissolução do corretivo e correção da acidez no perfil do solo, pode ser devido: (i) ao incremento de material orgânico oriundo de resíduos vegetal e animal ($\text{C orgânico} \rightarrow \text{R-COOH} \rightarrow \text{R-COO}^- + \text{H}^+$), (ii) a intensa aplicação de fertilização nitrogenada ($\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \leftrightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$) (HAVLIN et al., 2014), inclusive, no azevém anual para garantir a exploração desta cultura pelo animal, (iii) a migração física do calcário através dos bioporos

formados (AULER et al., 2014) devido a constante renovação do sistema radicular, (iv) a movimentação vertical de partículas finas do calcário (AMARAL et al., 2004), e formação e migração de bicarbonatos de Ca e Mg (COSTA, 2000).

5.5.2.1. Saturação por bases do solo (V)

O PD e o azevém destinado a CS na camada superficial (0-5 cm) foram mais eficientes em manter elevada, ao longo do tempo, a V (cerca de 60%) e apresentaram menor incremento da V abaixo da camada superficial do solo (FREIRIA et al., 2008) em relação aos demais métodos de preparo do solo e propósitos de uso do azevém anual. Esse fato pode ser atribuído a maior variabilidade vertical da fertilidade do solo em PD. Ainda, o azevém anual destinado a CS, tem capacidade de absorver nutrientes das camadas subsuperficiais e, após o manejo da fitomassa com herbicida, liberá-los na camada de 0-5 cm (TORRES & PEREIRA, 2008) incrementando a V.

O azevém anual destinado a SPS e em SIPA apresentaram menor V na camada 0-5 cm, devido a intensa exportação de cátions básicos (Ca, Mg e K) do solo pelas culturas e maior aporte de nitrogênio (N) via fertilizantes (Tabela 3 do capítulo anterior) e, conseqüentemente, geração de prótons. Esses fatos podem beneficiar a dissolução do corretivo e redistribuição de cátions no solo, no entanto, levam ao aumento da acidez e diminuição de V. Além disso, a presença de animais em SIPA, incrementam os efeitos da calagem (FLORES et al., 2008) e amenizam a variabilidade da acidez e V do solo até a profundidade de 30 cm. Além disso, o efeito residual da calagem pode persistir por até 60 meses da sua aplicação em sistemas de produção com milho silagem e azevém anual, desde que empregado adequado manejo das culturas e solo e recomendação de aporte do corretivo e fertilizantes; combinados com adequada condição climática. Esse resultado foi superior ao observado por Toffolli et al. (2014) e Flores et al. (2008), em Latossolo e PD, os quais encontram incremento máximo da V do solo aos 25 e 24 meses da calagem, respectivamente.

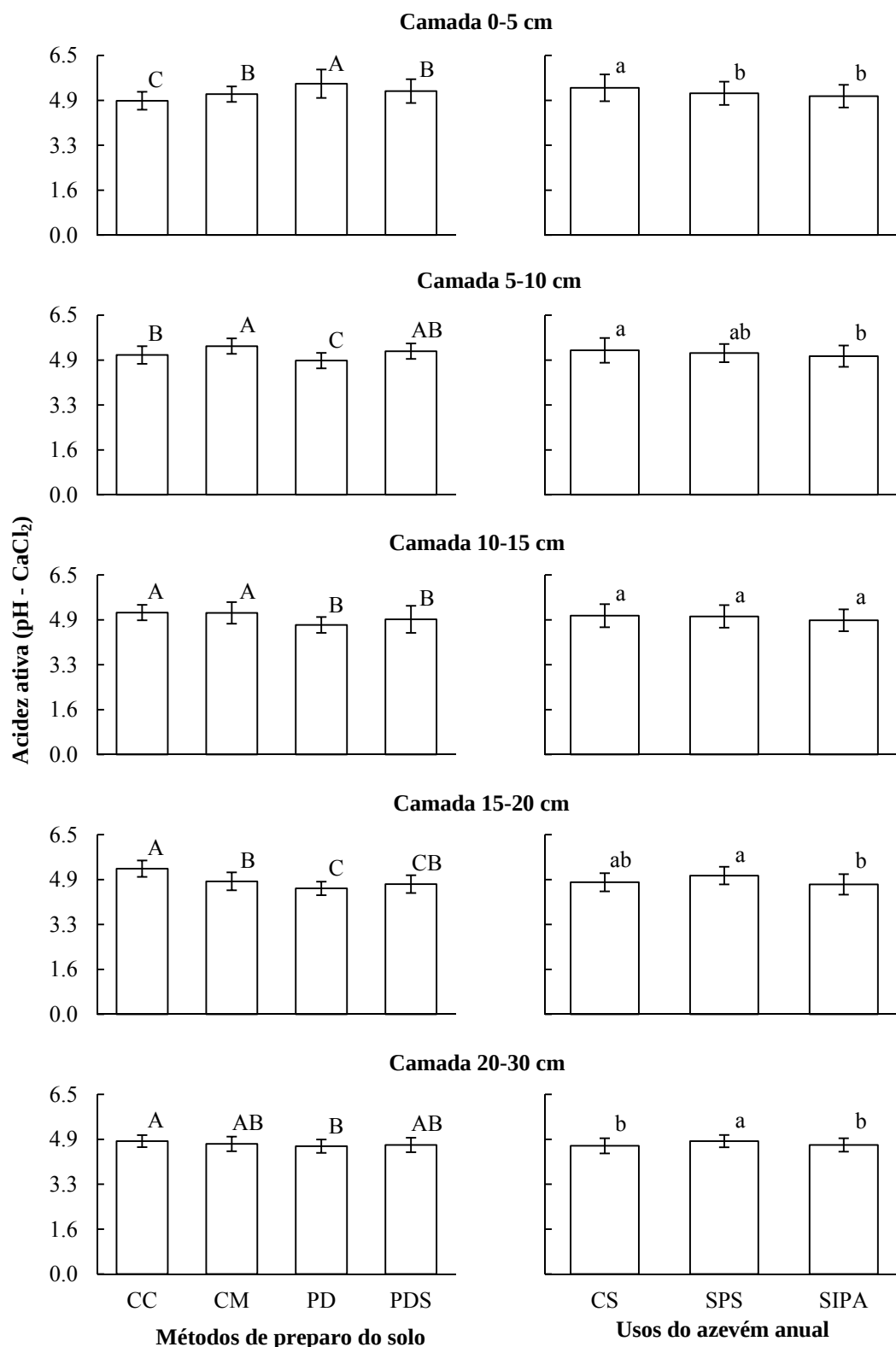


Figura 8. Acidez ativa (pH - CaCl₂) após dois períodos de avaliação (24 e 60 meses da calagem e durante cinco safras de milho). Os tratamentos foram quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS) ($n = 24 \pm$ desvio padrão) e três propósitos de uso do azevém anual para: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistemas integrado de produção agropecuária (SIPA) ($n = 32 \pm$ desvio padrão). Médias seguidas por letras iguais maiúsculas e minúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

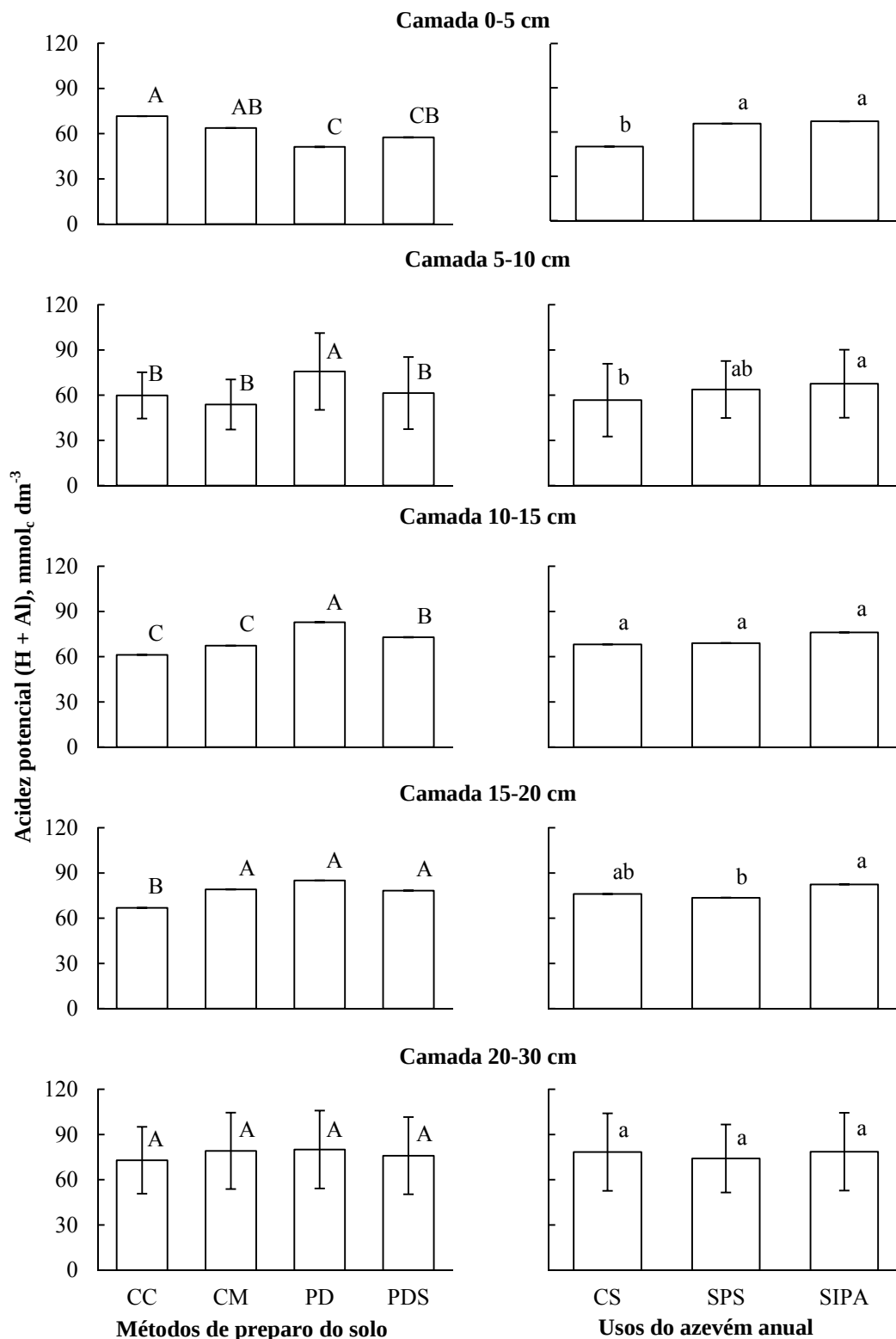


Figura 9. Acidez potencial (H+Al), mmol_c dm⁻³, após dois períodos de avaliação (24 e 60 meses da calagem e durante cinco safras de milho). Os tratamentos foram quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS) ($n = 24 \pm$ desvio padrão) e três propósitos de uso do azevém anual para: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) ($n = 32 \pm$ desvio padrão). Médias seguidas por letras iguais maiúsculas e minúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

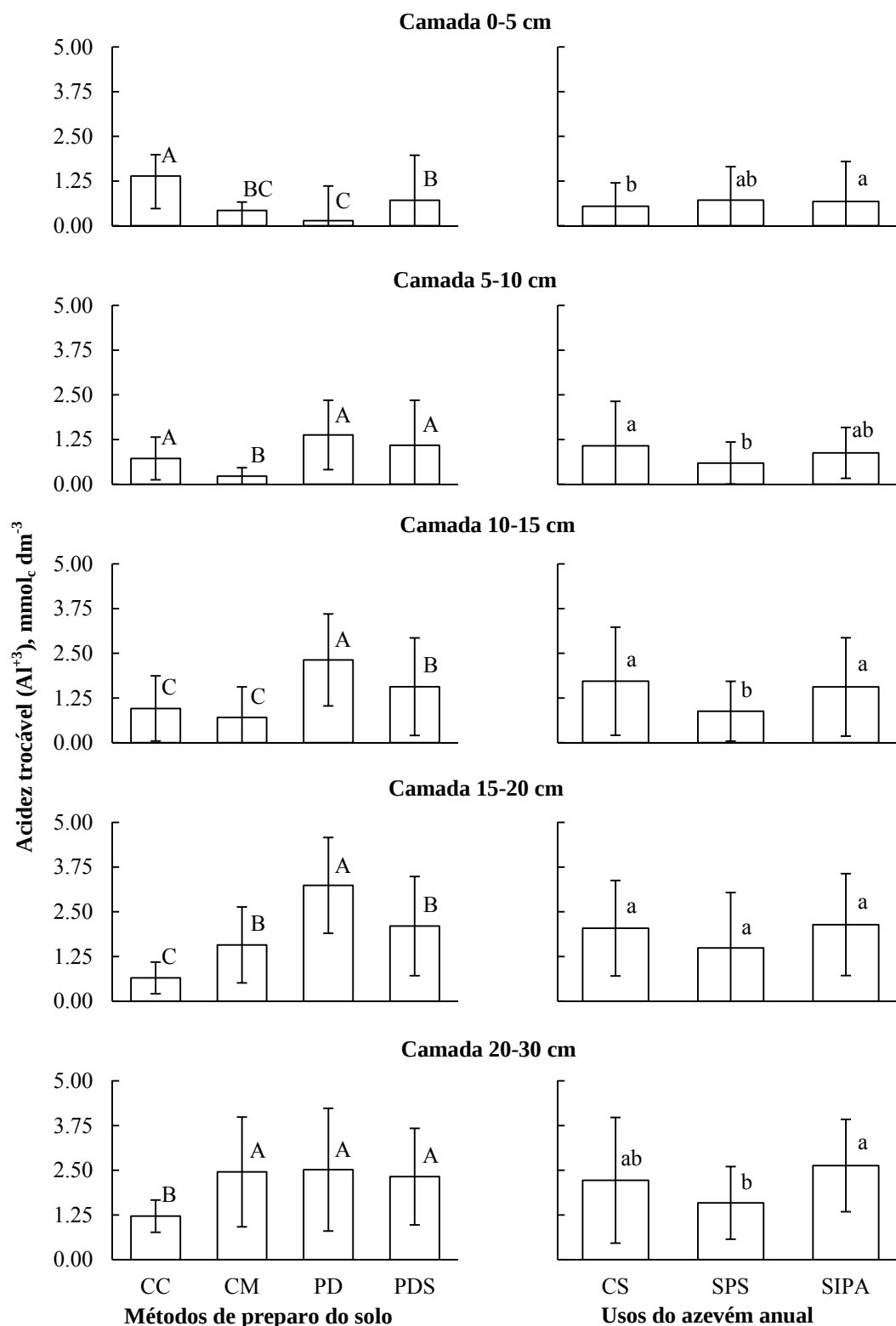


Figura 10. Acidez trocável (Al^{+3}), $mmol_c dm^{-3}$, após dois períodos de avaliação (24 e 60 meses da calagem e durante cinco safras de milho). Os tratamentos foram quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS) ($n = 24 \pm$ desvio padrão) e três propósitos de uso do azevém anual para: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) ($n = 32 \pm$ desvio padrão). Médias seguidas por letras iguais maiúsculas e minúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

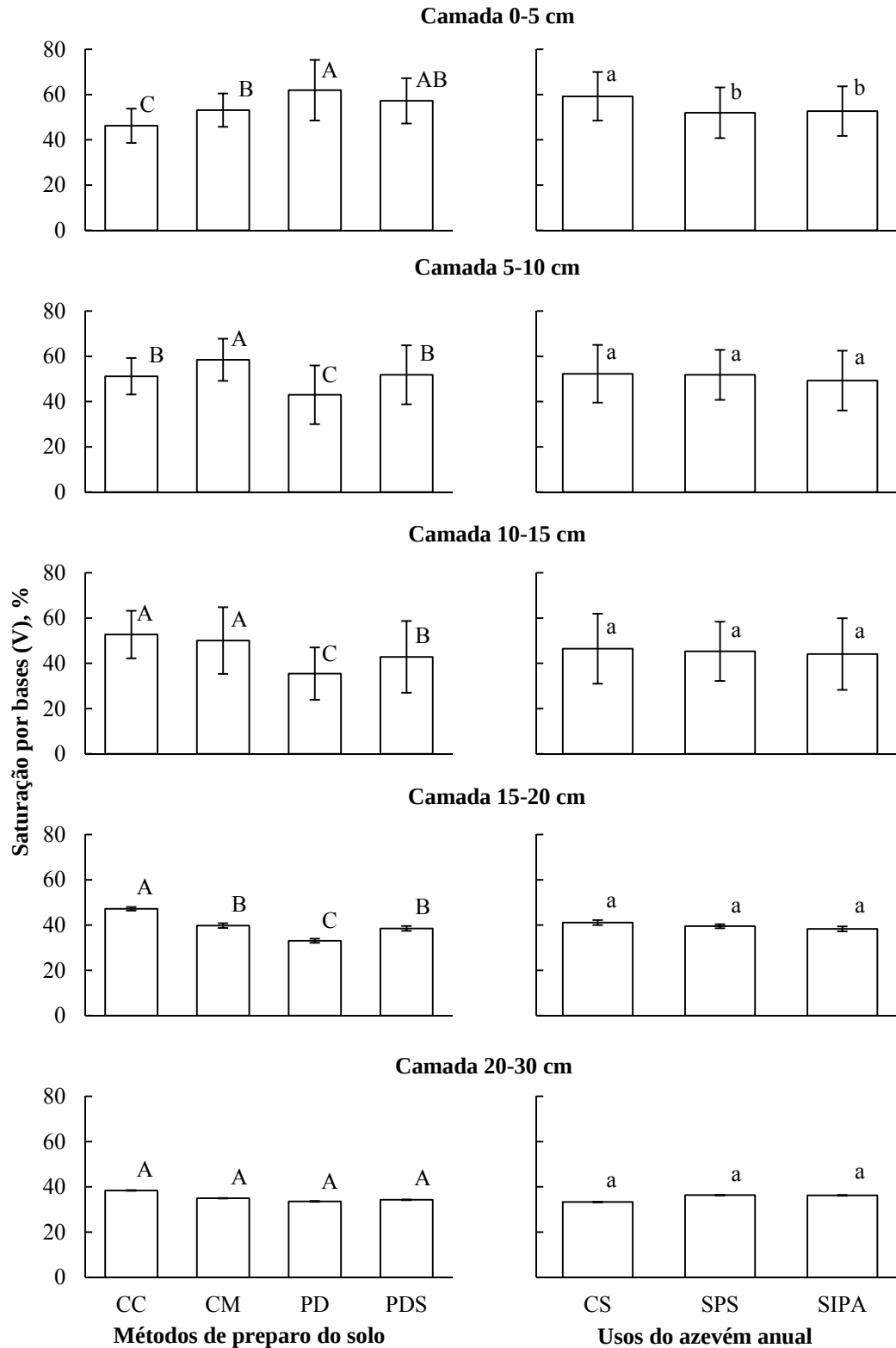


Figura 11. Saturação por bases (V), %, após dois períodos de avaliação (24 e 60 meses da calagem e durante cinco safras de milho). Os tratamentos foram quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS) ($n = 24 \pm$ desvio padrão) e três propósitos de uso do azevém anual para: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) ($n = 32 \pm$ desvio padrão). Médias seguidas por letras iguais maiúsculas e minúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

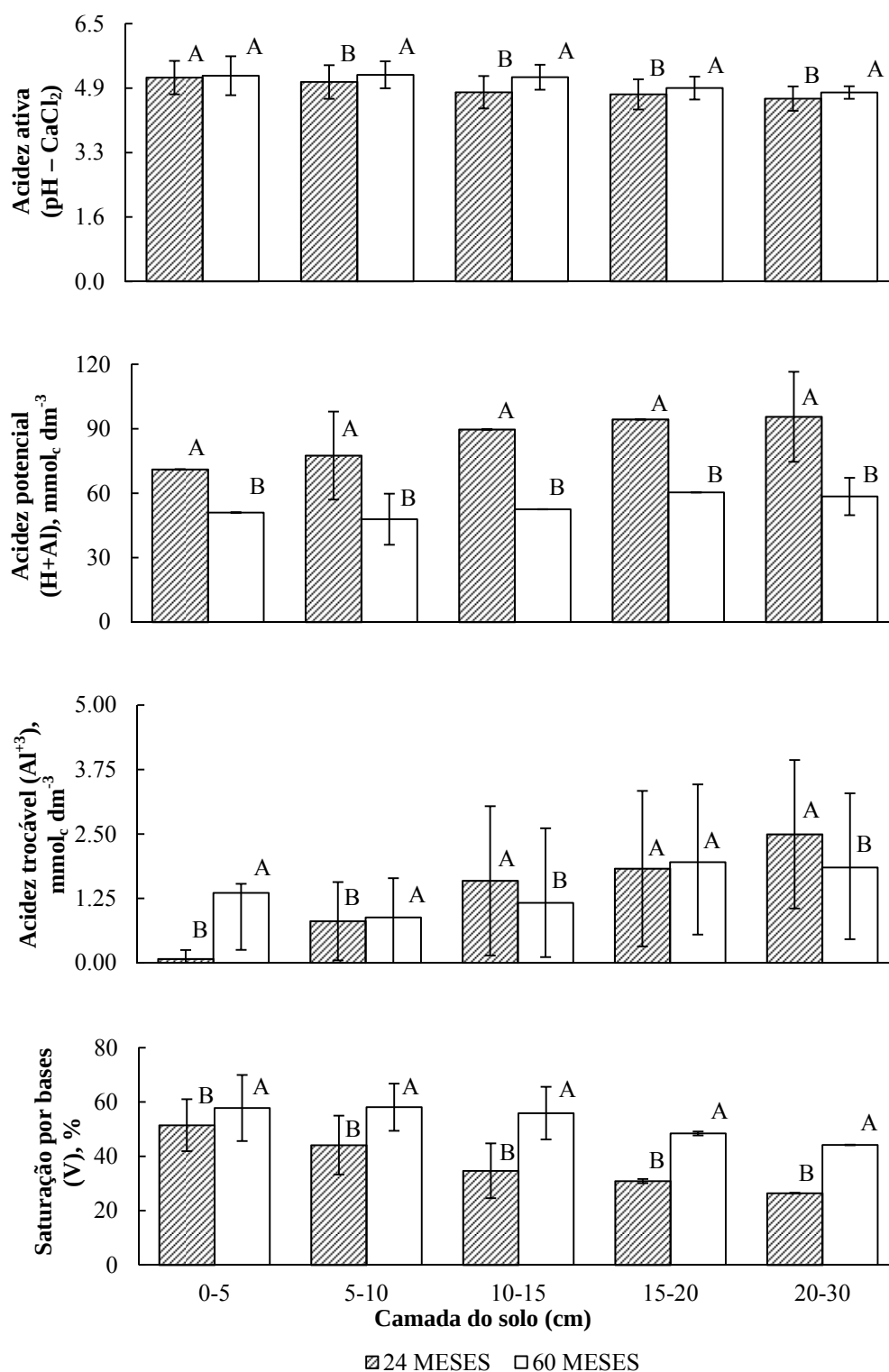


Figura 12. Acidez ativa ($\text{pH} - \text{CaCl}_2$), potencial ($\text{H} + \text{Al}$) e trocável (Al^{+3}), e saturação por bases (V), após dois períodos de avaliação (24 e 60 meses da calagem e durante cinco safras de milho) ($n = 48 \pm$ desvio padrão). Os tratamentos foram quatro métodos de preparo do solo: cultivo convencional (CC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e PD com subsolagem bianual (PDS) e três propósitos de uso do azevém anual para: cobertura do solo (CS), silagem pré-secada (SPS) e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA). Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

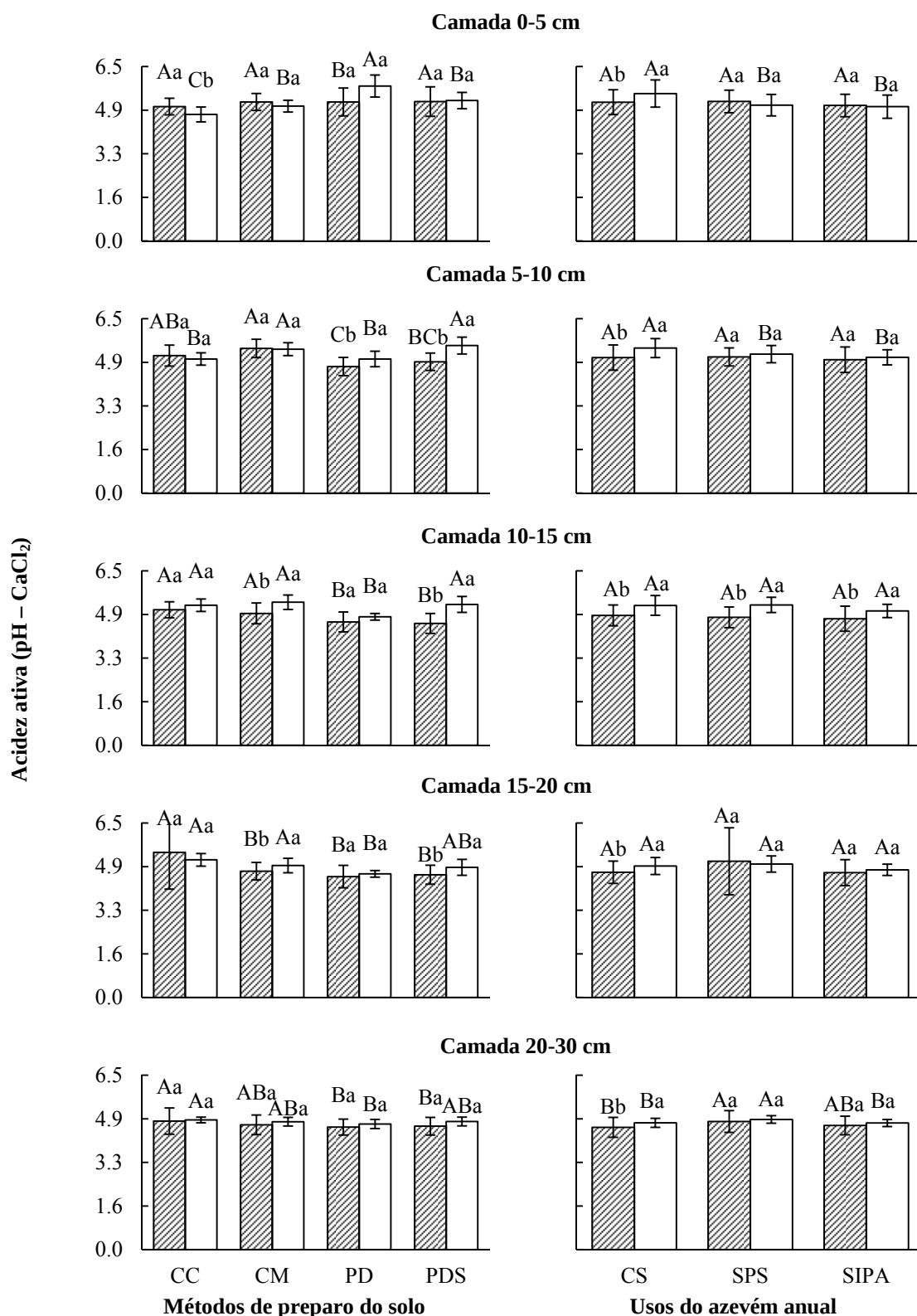


Figura 13. Acidez ativa (pH – CaCl₂) do solo após 24 (▨) e 60 (□) meses da calagem (e durante cinco safras de milho) ($n = 12 \pm$ desvio padrão) em cada método de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS) e em cada propósito de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA). Médias seguidas por letras maiúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para métodos de preparo do solo e usos do azevém anual em cada período estudado. Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para os dois períodos de avaliação dos atributos do solo em cada método de preparo do solo e em cada uso do azevém anual.

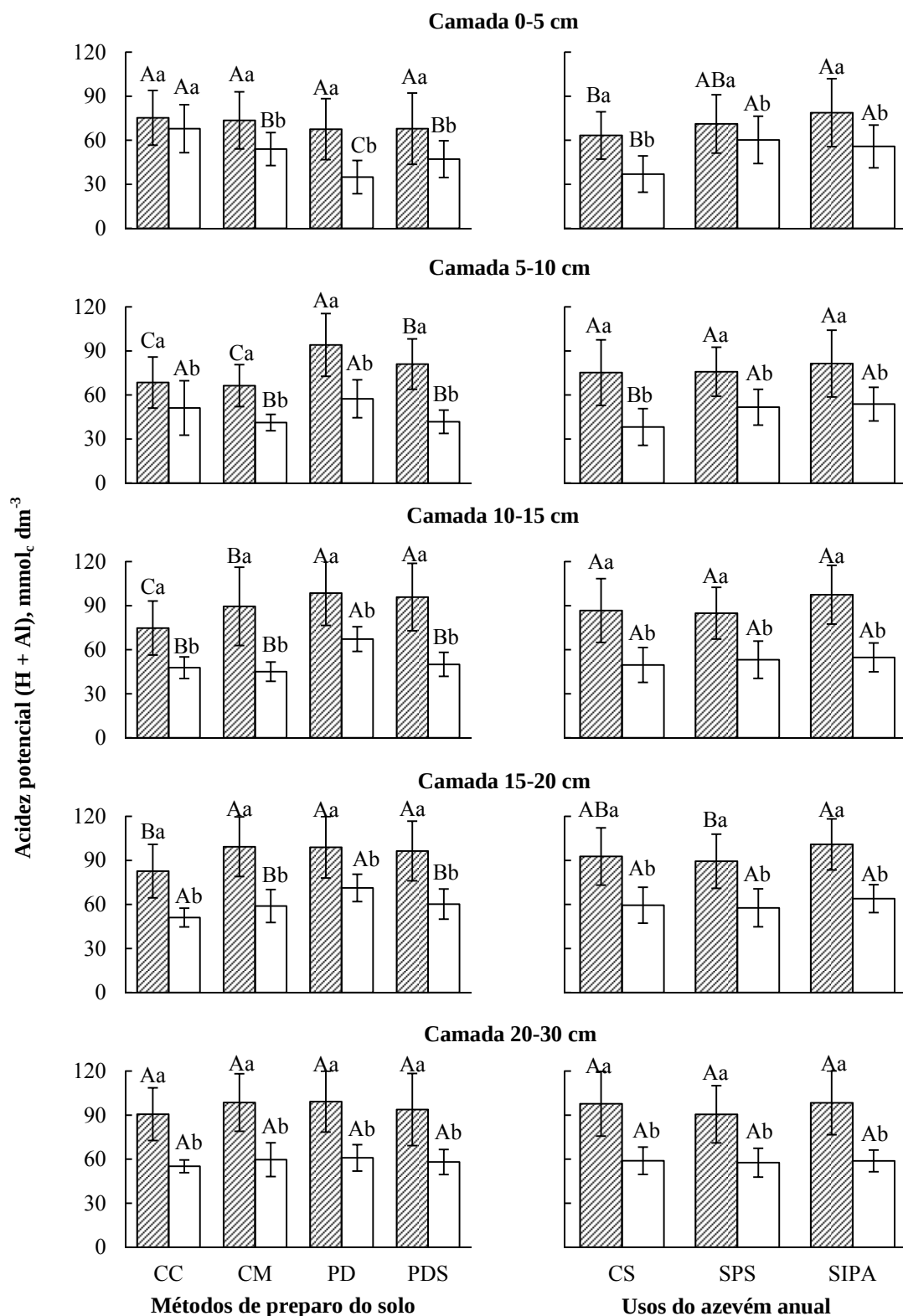


Figura 14. Acidez potencial (H+Al), $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ do solo após 24 (▨) e 60 (□) meses da calagem (e durante cinco safras de milho) ($n = 12 \pm$ desvio padrão) em cada método de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS) e em cada propósito de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA). Médias seguidas por letras maiúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para métodos de preparo do solo e usos do azevém anual em cada período estudado. Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para os dois períodos de avaliação dos atributos do solo em cada método de preparo do solo e em cada uso do azevém anual.

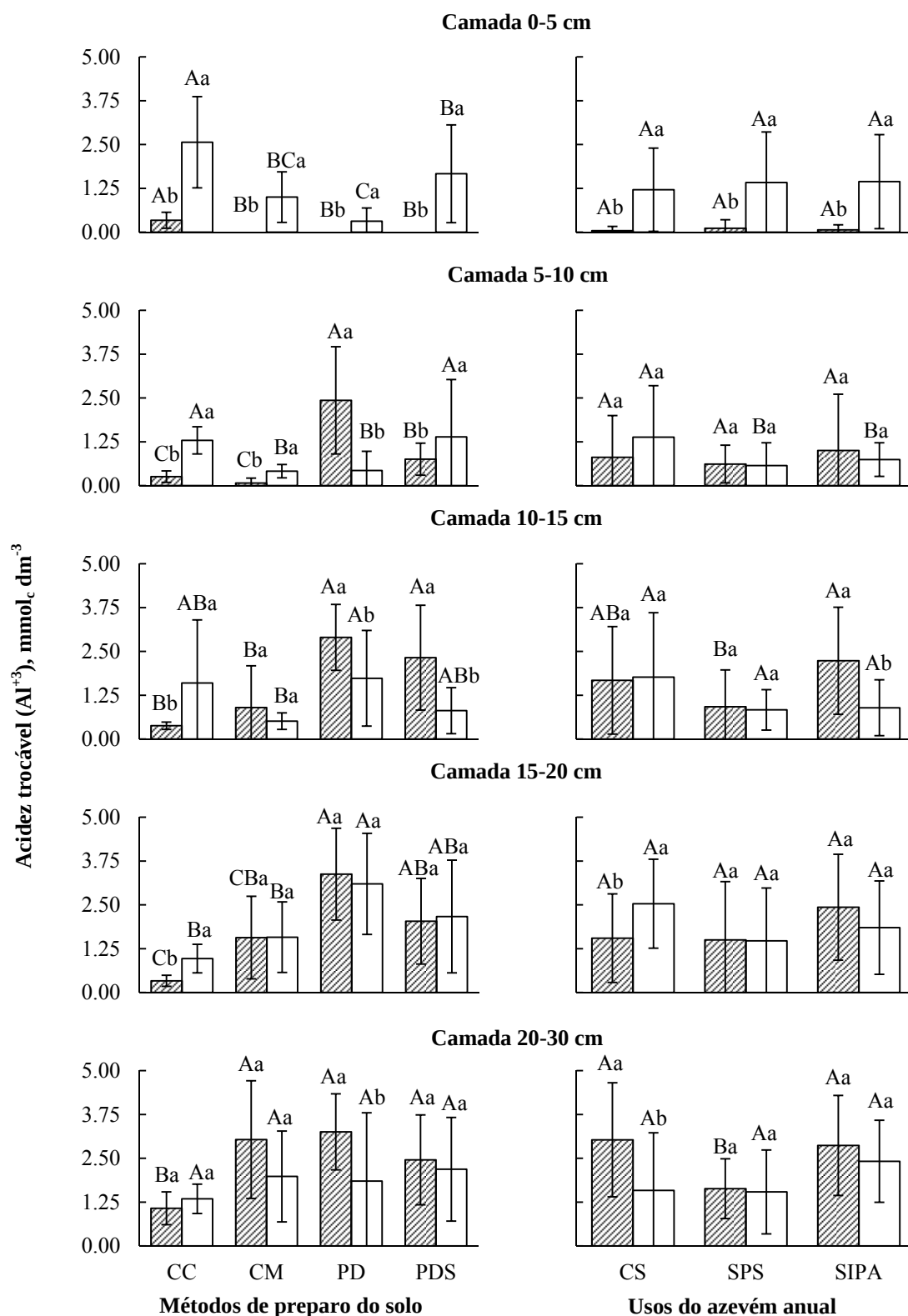


Figura 15. Acidez trocável (Al^{3+}), $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ do solo após 24 (▨) e 60 (□) meses da calagem (e durante cinco safras de milho) ($n = 12 \pm$ desvio padrão) em cada método de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS) e em cada propósito de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA). Médias seguidas por letras maiúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para métodos de preparo do solo e usos do azevém anual em cada período estudado. Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para os dois períodos de avaliação dos atributos do solo em cada método de preparo do solo e em cada uso do azevém anual.

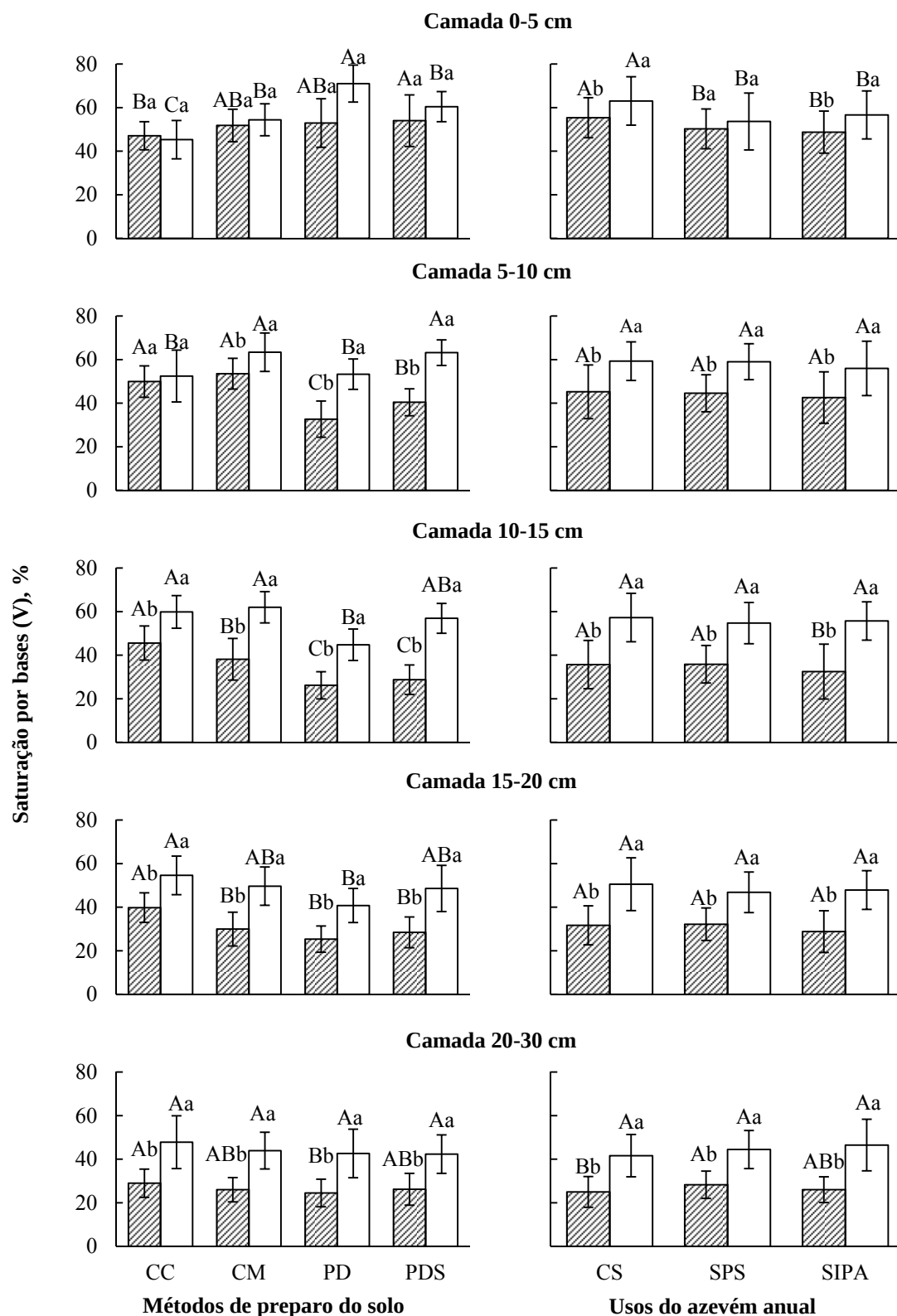


Figura 16. Saturação por bases (V), %, do solo após 24 (▨) e 60 (□) meses da calagem (e durante cinco safras de milho) ($n = 12 \pm$ desvio padrão) em cada método de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS) e em cada propósito de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA). Médias seguidas por letras maiúsculas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para métodos de preparo do solo e usos do azevém anual em cada período estudado. Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para os dois períodos de avaliação dos atributos do solo em cada método de preparo do solo e em cada uso do azevém anual.

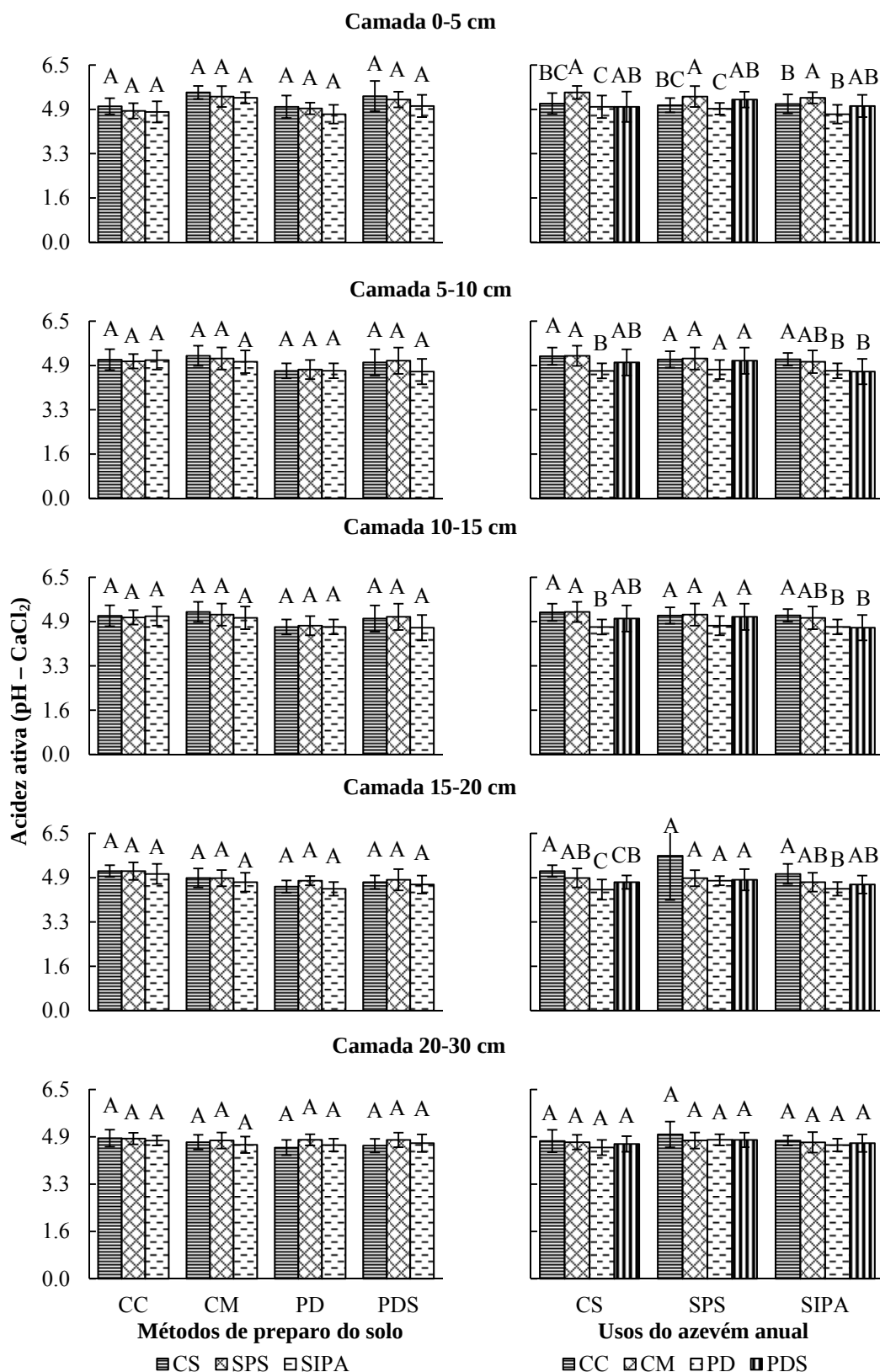


Figura 17. Acidez ativa (pH – CaCl₂) do solo após 24 e 60 meses da calagem (e durante cinco safras de milho) ($n = 8 \pm$ desvio padrão) dos propósitos de uso do azevém anual em cada método de preparo do solo e dos métodos de preparo do solo em cada propósito de uso do azevém anual. Métodos de preparo do solo: cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS. Propósitos de uso do azevém anual: cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) dentro de cada método de preparo do solo e de cada propósito de uso do azevém anual.

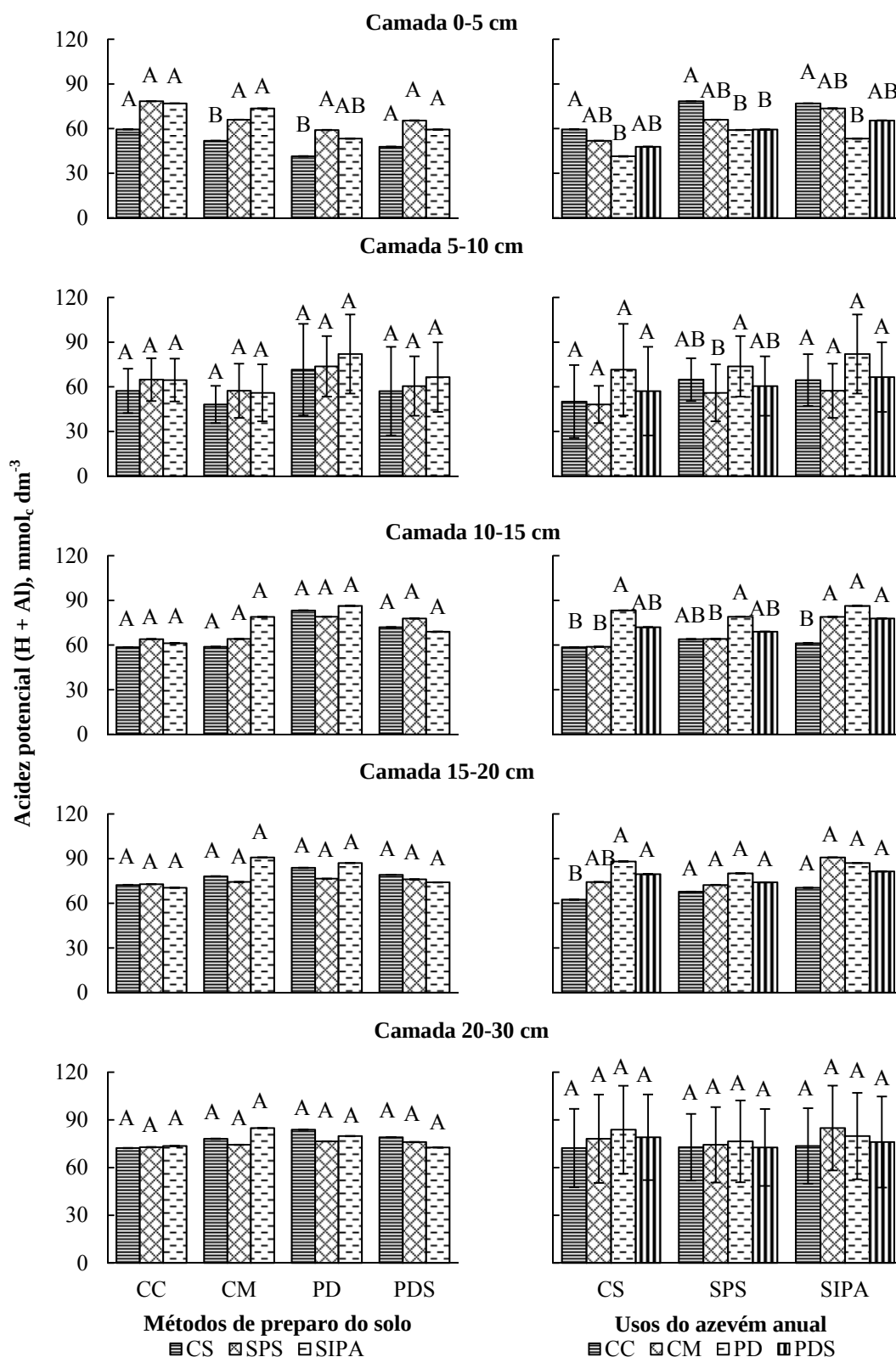


Figura 18. Acidez potencial (H+Al) do solo após 24 e 60 meses da calagem (e durante cinco safras de milho) ($n = 8 \pm$ desvio padrão) dos propósitos de uso do azevém anual em cada método de preparo do solo e dos métodos de preparo do solo em cada propósito de uso do azevém anual. Métodos de preparo do solo: cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS. Propósitos de uso do azevém anual: cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) dentro de cada método de preparo do solo e de cada propósito de uso do azevém anual.

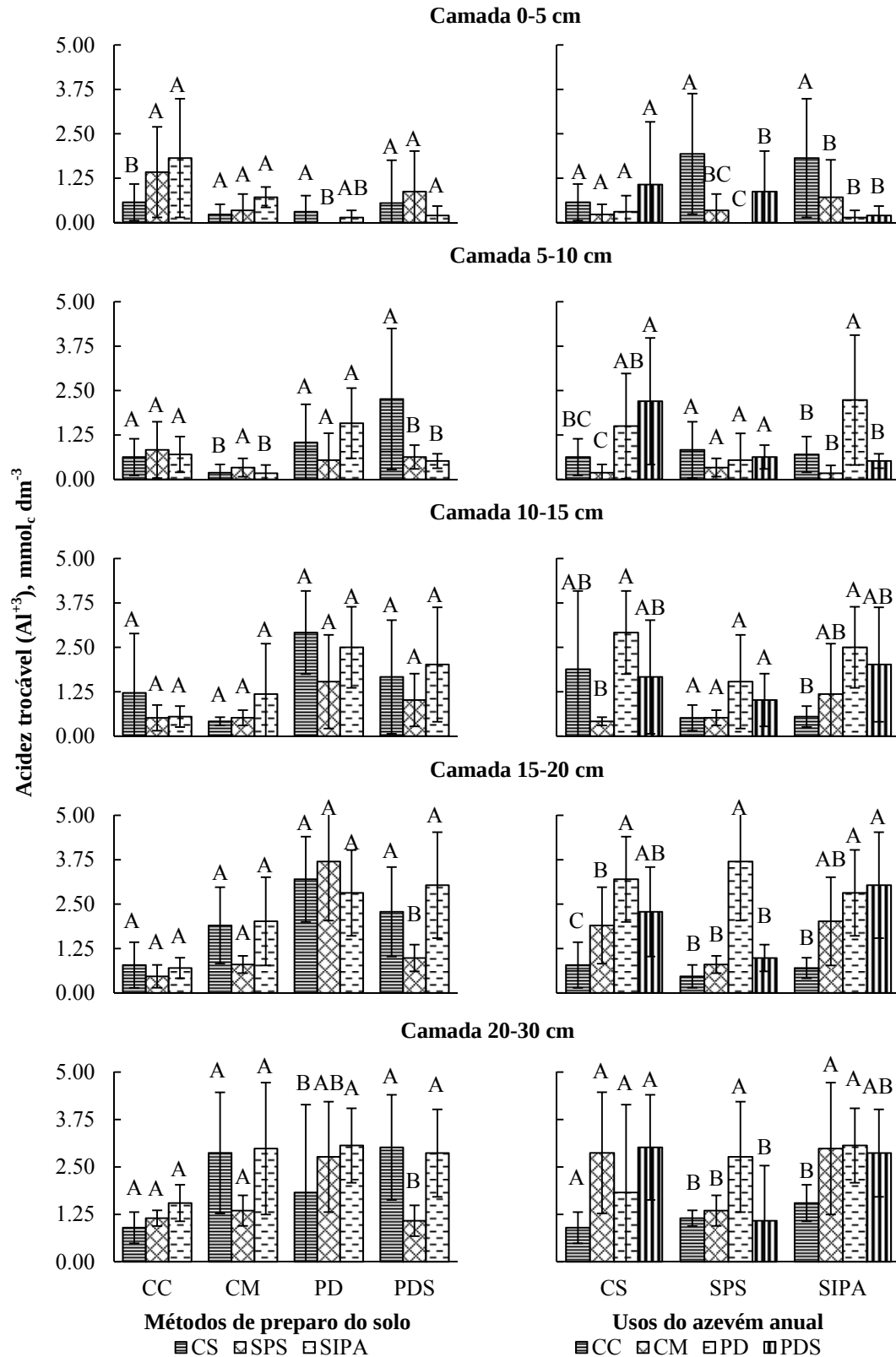


Figura 19. Acidez trocável (Al^{3+}) do solo após 24 e 60 meses da calagem (e durante cinco safras de milho) ($n = 8 \pm$ desvio padrão) dos propósitos de uso do azevém anual em cada método de preparo do solo e dos métodos de preparo do solo em cada propósito de uso do azevém anual. Métodos de preparo do solo: cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS. Propósitos de uso do azevém anual: cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) dentro de cada método de preparo do solo e de cada propósito de uso do azevém anual.

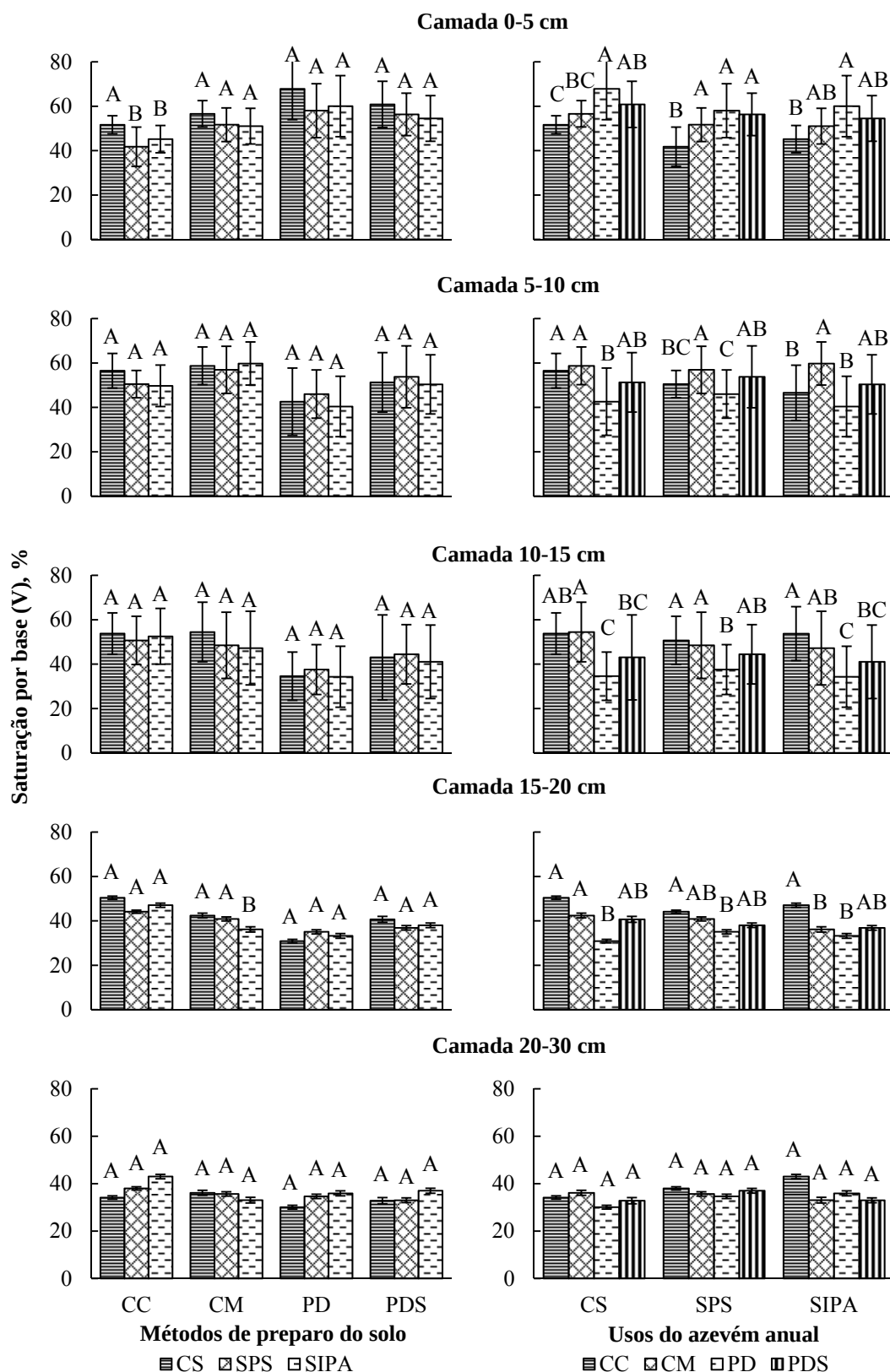


Figura 20. Saturação por bases (V) do solo após 24 e 60 meses da calagem (e durante cinco safras de milho) ($n = 8 \pm$ desvio padrão) dos propósitos de uso do azevém anual em cada método de preparo do solo e dos métodos de preparo do solo em cada propósito de uso do azevém anual. Métodos de preparo do solo: cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS. Propósitos de uso do azevém anual: cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA. Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) dentro de cada método de preparo do solo e de cada propósito de uso do azevém anual.

5.6. Conclusões

O plantio direto e o propósito de uso do azevém anual para cobertura do solo são mais eficientes em reduzir a acidez ativa, potencial e trocável e incrementar a saturação por bases na camada de 0-5 cm. Esses efeitos foram mais evidentes aos 60 meses após a calagem. Além disso, no tocante ao controle de acidez e aumento da saturação por bases o uso da subsolagem em plantio direto deve ser evitado.

Os propósitos de uso do azevém anual para silagem pré-secada e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária, em plantio direto, proporcionam menor acidez ativa e potencial na camada 10-30 cm do solo. Ao longo do tempo, essas estratégias de uso do azevém anual favorecem o efeito residual da calagem.

E efeito da calagem persiste até 60 meses após sua aplicação em sistemas de produção de azevém anual com milho silagem, independentemente se o azevém anual for destinado à produção de silagem ou pastoreio animal.

6. CONCLUSÕES GERAIS

O uso da sucessão entre azevém anual e milho silagem, em plantio direto, pode ser viável: (i) por até dois anos em termos de rendimento de matéria seca e teor de proteína bruta do milho silagem, e (ii) por até 60 meses após a calagem, em termos de fertilidade do solo, desde que adote-se adequado manejo do azevém anual, correção da acidez do solo e aporte de fertilizantes.

Quando se utiliza o azevém anual durante o outono-inverno em plantio direto, para silagem pré-secada e em sistema integrado de produção agropecuária ocorre, ao longo do tempo: (i) manutenção do rendimento de matéria seca do milho silagem; (ii) milho silagem com excelente teor de proteína bruta; (iii) amenização na variação vertical da acidez e saturação por bases do solo; e (iv) efeito residual do corretivo prolongado.

Em médio prazo, o plantio direto favorece a diminuição da acidez e aumento da saturação por bases do solo na camada de 0-5 cm e mantém o rendimento de matéria seca e o teor de proteína bruta no milho silagem, sendo, portanto, desprezível o uso métodos de preparo do solo que visam a perturbação do solo.

As condições climáticas, ausência de espécies de leguminosas na rotação de culturas e o processo natural de acidificação do solo podem reduzir o rendimento e qualidade de matéria seca de milho silagem e empobrecer o solo.

7. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J.A. et al. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p.717-723, 2001.
- AL-KAISI, M.M. & YIN, X. Stepwise time response of corn yield and economic return to no tillage. **Soil & Tillage Research**, v.78, p. 91–101, 2004.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R. & BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.28, p.359-367, 2004.
- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Ed.1. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 874-928.
- AOAC International. **Official Methods of Analysis**. Protein (Crude) in animal feed, forage (plant tissue), grain, and oilseeds. 2002.
- ASSMANN, T. S.; RONZELLI JÚNIOR, P.; MORAES, A.; ASSMANN, A. L.; KOEHLER, H. S.; SANDINI, I. Rendimento de milho em área de integração Lavoura-pecuária sob o sistema plantio Direto, em presença e ausência de trevo Branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.675-683, 2003.
- AULER, A. C.; MIARA, S.; PIRES, L. F.; DA FONSECA, A. F.; BARTH, G. Soil physico-hydric properties resulting from the management in integrated production systems. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 976-989, 2014.
- BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.39, p.1925-1933, 2009.
- BARLOW, J. S.; BERNARD, J. K.; MULLIS, N. A. Production response to corn silage produced from normal, brown midrib, or waxy corn hybrids. **Journal of Dairy Science**, v.95, 2012.
- BAZIRAMAKENGA, R.; SIMARD, R.R. Low molecular weight aliphatic acid contents of composted manures. **Journal of Environmental Quality**, v.27, p.557-561, 1998.
- BELEZE, J.R.F. et al. Avaliação de cinco híbridos de milho (*Zea mays*, L.) em diferentes estádios de maturação.1. Produtividade, características morfológicas e correlações. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 529-537, 2003a.
- BELEZE, J.R.F. et al. Avaliação de cinco híbridos de milho (*Zea mays*, L.) em diferentes estádios de maturação. 2. Concentrações dos componentes estruturais e correlações. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 538-545, 2003b.
- BOER, C.A. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, p.1269-1276, 2007.

BOLAN, N.S. & HEDLEY, M.J. The role of carbon, nitrogen and sulphur in soil acidification. In: Z. Rengel (Ed.), **Handbook of Soil Acidification**. Marcel Dekker, New York, 2003, p.29–56.

BOLAN, N.S.; ROWARTH, J.; DE LA LUZ MORA, M.; ADRIANO, D.; CURTIN, D. Biological transformation and bioavailability of nutrient elements in acid soils as affected by liming. **Developments in Soil Science**, v.32, Ravendra Naidu (Editor), 2008.

BOLLAND, M. D. A. & RUSSELL, W. K. Changes in chemical properties of 48 intensively grazed, rain-fed dairy paddocks on sandy soils over 11 years of liming in south-western Australia. **Australian Journal of Soil Research**, v.48, p.682–692, 2010.

BOLLIGER, A.; MAGID, J.; AMADO, T. J. C.; SKÓRA NETO, F.; RIBEIRO, M. F. S.; CALEGARI, A.; RALISCH, R.; NEERGAARD, A. Taking stock of the Brazilian “zero-till revolution”: a review of landmark research and farmers’ practice. **Advances in Agronomy**, v.91, 2006.

CADAVID, L.F.; EL-SHARKAWY, M.A.; ACOSTA, A. & SÁNCHEZ, T. Long-term effects of mulch, fertilization and tillage on cassava grown in sandy soils in northern Colombia. **Field Crops Research**, v.57, p.45-56, 1998.

CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. e BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, v.97, p.791-798, 2005.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. & PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.28, p.125-136, 2004.

CAIRES, E.F.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Lime application in the establishment of a no-till system for grain crop production in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.89, p.3 -12, 2006.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J.C.L. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal Agronomy**, v.28, p.57–64, 2008.

CANTARELLA, H. & TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio total em solo. In: VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p. 262-276.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Ed.1. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.375-470.

CANTARUTTI, R. B. et al. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Ed.1. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.769-850.

CARVALHO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; ATHAYDE, M. L. F.; ARF, O.; SÁ, M. E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.1, p.47-53, 2004.

CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E. D.; SULC, R. M.; LANG, C. R.; FLORES, J. P. C.; LOPES, M. L. T.; SILVA, J. L. S.; CONTE, O.; WESP, C. L.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R. S. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88, p. 259-273, 2010.

CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I.; KUNRATH, T.R.; MARTINS, A.P.; COSTA, S.E.V.G.A.; DAMIAN, F. S.; ASSMANN, J.M.; LOPES, M.L.T.; PFEIFER, F.M.; CONTE, O.; SOUZA (Ed). **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil**. Gráfica RJR, Porto Alegre, 2011, p.60.

CASSIOLATO, M.E.; MEDA, A.R.; PAVAN, M.A.; MIYAZAWA, M.; OLIVEIRA, J.C. Evaluation of oat extracts on the efficiency of lime in soil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.43, p.533-536, 2000.

CASTRO, G.S.A. & CRUSCIOL, C.A.C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma**, v. 195–196, p. 234–242. 2013.

COLET, M.J. et al. Processo de semeadura e o rendimento do milho na região dos Campos Gerais do Paraná. **Ciência Rural**, v.37, p. 994-999, 2007.

CORSINI, P.C. & FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.289-298, 1999.

COSTA, A. Doses e modos de aplicação de calcário na implantação de sucessão soja-trigo em sistema plantio direto. Botucatu, **Universidade Estadual Paulista**, 2000. 146p. (Tese de Doutorado).

CURTIS, T. & HALFORD, N. G. Food security: the challenge of increasing wheat yield and the importance of not compromising food safety. **Annals of Applied Biology**, v.164, p.354–372, 2014.

DE CARVALHO, M.A.C. et al. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.47-53, 2004.

EGAN, J.K. & DOYLE, P.T. Effect of intraruminal infusion of urea on the response in voluntary feed intake by sheep. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.36, p.483-495, 1985.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999, 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. EMBRAPA-Solos, Rio de Janeiro, 1997.

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1419-1424, 2001.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A. e FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.27, p.1097-1104, 2003.

FANTE JR., L.; REICHARDT, K.; JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: I. Comparação de metodologias. **Scientia Agricola**, v.51, p.513, 1994.

FAO. Sustainable agricultural production: implications for international agricultural research. **FAO Research and Technology**. Paper 4, 1989, 131 p.

FERNANDEZ, G.C.J. Repeated measure analysis of line-source sprinkler experiments. **HortScience**, v.26, p.339-342, 1991.

FIRBANK, L.G. et al. Evidence of sustainable intensification among British farms. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 173, p.58–65, 2013.

FLORES, R.A. et al. Produção de forragem de populações de azevém anual no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.1168-1175, 2008.

FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 23:533- 542, 1999.

FRANKOWSKI, M.; ZIOŁA-FRANKOWSKA, A.; SIEPAK, J. From soil to leaves – aluminum fractionation by single step extraction procedures in polluted and protected areas. **Journal of Environmental Management**, v.127, p.1–9, 2013.

FRANKOWSKI, M.; ZIOŁA-FRANKOWSKA, A.; SIEPAK, J. Speciation of aluminum fluoride complexes and Al^{3+} in soils from the vicinity of an aluminum smelter plant by hyphenated high performance ion chromatography flame atomic absorption spectrometry technique. **Microchemical Journal**, v.95, p.366–372, 2010.

FRASER, M. A. & SCOTT, B. J. Variability of acidity in agricultural soils—the impact of timber burning at land clearing. **Soil Research**, v.49, p. 223–230, 2011.

FREIRIA, A. C.; MANTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. e YAGI, R. Alterações em atributos químicos do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorporado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, p. 285-291, 2008.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.425-434, 2002.

HAVLIN, J.L.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. Upper Sadle River: NJ. Pearson, 2014.

HAWKESFORD, M. J. et al. Prospects of doubling global wheat yields. **Food and Energy Security**, 2. ed, p. 34–48, 2013.

HERRERO, M., et al. Smart in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. **Science**, v. 327, p. 822-825, 2010.

HUYNH, H. & FELDT, L.S. Conditions under which mean square ratios in repeated measurements designs have exact F-distributions. **Journal of the American Statistical Association**, v.65, p.1582-1589, 1970.

JANDL, G.; ACKSEL, A.; BAUM, C. e LEINWEBER, P. Indicators for soil organic matter quality in no-till soils under perennial crops in Central Sweden. **Soil & Tillage Research**, v.148, p.74–84, 2015.

JAREMTCHUK, A. R. et al. Características agronômicas e bromatológicas de vinte genótipos de milho (*Zea mays* L.) para silagem na região leste paranaense. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 27, pp. 181-188, 2005.

KIRKHAM, F.W.; TALLOWIN, J. R. B.; DUNN, R. M.; BHOGAL, A.; CHAMBERS, B. J. E BARDGETT, R. D. Ecologically sustainable fertility management for the maintenance of species-rich hay meadows: a 12-year fertilizer and lime experiment. **Journal of Applied Ecology**, v.51, p.152–161, 2014.

KLOPFENSTEIN, T.J.; ERICKSON, G.E. e BERGERB, L.L. Maize is a critically important source of food, feed, energy and forage in the USA. **Field Crops Research**. v.153, p.5–11, 2013.

KOCHIAN, L.V. Cellular mechanism of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology**, v.46, p.237-260, 1995.

LAL, R. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. **Land Degradation & Development**, v.17, p.197-209, 2006.

LANDERS, J.N. **Tropical crop-livestock systems in conservation agriculture: the Brazilian experience**. Rome: FAO, 2007, 92p.

LAVEZZO, W.O. et al. Estádio de desenvolvimento do milho. Efeito sobre produção, composição da planta e qualidade da silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 26, n. 4, p. 675-682, 1997.

LOPES, V., NOGUEIRA, A. & FERNANDES, A. Cultura de azevém anual. **Ministério da Agricultura e do Desenvolvimento Rural e das Pescas**. Edição e distribuição: Div. Doc. Inf. e Relações Públicas. Edição on-line, ficha técnica 53, 2006.

LUNARDI, R.; CARVALHO, P.C.F.; TREIN, C.R.; COSTA, J.A.; CAUDURO, G.F.; BARBOSA, C.M.P.; AGUINAGA, A.A.Q. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo. **Ciência Rural**, v.38, p.795-801, 2008.

MA, J.F.; RYAN, P.R. e DELHAIZE, E. Aluminum tolerance in plants and the complexing role of organics acids. **Trends in Plant Science**, v.6, p.273-278, 2001.

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

MARTINS, A. P.; ANGHINONI, I.; COSTA, S. E.V.G. A.; CARLOS, F. S.; NICHEL, G. H.; SILVA, R. A. P. e CARVALHO, P. C. F. Amelioration of soil acidity and soybean yield after surface lime reapplication to a long-term no-till integrated crop-livestock system under varying grazing intensities. **Soil & Tillage Research**, v.144, p.141–149, 2014.

MITCHEL, C.C.; WESTERMAN, R.L.; BROWN, J.R.; PECK, T.R. Overview of long-term agronomic research. **Agronomy Journal**, v.83, p.24-29, 1991.

MIYAJI, M. et al. Milk production, nutrient digestibility and nitrogen balance in lactating cows fed total mixed ration silages containing steam-flaked brown rice as substitute for steam-flaked corn, and wet food by-products. **Animal Science Journal**, v.84, p. 483–488, 2013.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. Piracicaba, Potafós, 2000. (Informações Agronômicas – Encarte Técnico).

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. e CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.17, p.411- 416, 1993.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S. B. C.; COSTA, S. E. V. G. A.; KUNRATH, R. R. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 4-9, 2014.

MOREIRA, A. & FAGERIA, N.K. Liming influence on soil chemical properties, nutritional status and yield of alfalfa grown in acid soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1231-1239, 2010.

NAGY, N.M. & KÓNYA, J. Study of pH-dependent charges of soils by surface acid–base properties. **Journal of Colloid and Interface Science**, v.305, p.94-100, 2007.

NEMECEK, T.; RICHTHOFEN, J.S. VON; DUBOIS, G.; CASTA, P.; CHARLES, R.; PAHL, H. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. **European Journal Agronomy**, v.28, p. 380–393, 2008.

NICOLOSO, R.S.; LANZANOVA, M. E.; LOVATO, T. Manejo das pastagens de inverno e potencial produtivo de sistemas de integração lavoura–pecuária no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.36, n.6, p.1799-1805, 2006.

NOBLE, A.D.; SUZUKI, S.; SODA, W.; RUAYSOONGNERN, S. e BERTHELSEN, S. Soil acidification and carbon storage in fertilized pastures of Northeast Thailand. **Geoderma**, v.144, p. 248–255, 2008.

NOLLA, A. & ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 06, n. 01, p. 97-111, 2004.

NORTH, J. M. Methods for quantifying lime incorporation into dewatered sludge. i: bench-scale evaluation. **Journal of Environmental Engineering**, v. 134, p. 750-761, 2008.

NRC (National Research Council). Toward Sustainable Agricultural Systems in the 21st Century. **Committee on Twenty-First Century Systems Agriculture**. The National Academies Press, Washington DC, 2010, p. 570.

NUSSIO, L. G.; SIMAS, J. E. C. e LIMA, M. L. M. Determinação do ponto de maturidade ideal para colheita do milho para silagem. In: NUSSIO, L. G.; ZOPOLLATO, M.; MOURA, J. C (Ed). **Milho para a silagem**, Piracicaba: FEALQ, p. 11-26. 2001.

OJIEMA, J.O.; FRANKEN, A.C.; VANLAUWE, B.; RIDDER, N. DE; GILLER, K.E. Benefits of legume–maize rotations: Assessing the impact of diversity on the productivity of smallholders in Western Kenya. **Field Crops Research**, v.168, p.75–85, 2014.

OLIVEIRA, E.L. **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná** / coordenação Edson Lima de Oliveira. - Londrina: IAPAR, 2003.30 p. (IAPAR. Circular, nº 128).

PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. Castro -PR. 2ed. 2004, 86p.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, (Circular, 76), 1992. 38p.

PUPO, N.I.H. **Manual de pastagens e forrageiras: formação, conservação, utilização**. Campinas, SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 1985.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENC, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.190, p.70–79, 2014.

SAS System. SAS Institute Inc. SAS OnlineDoc® 9.1.2. Cary, NC: SAS Institute, 2004.

SCHIAVO, J.A. et al. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1332-1338, 2011.

SHAMRIKOVAA, E. V. & SOKOLOVAB, T. A. Correlations between different acidity forms in amorphous loamy soils of the tundra and taiga zones. **Eurasian Soil Science**, v. 46, , p. 505–517, 2013.

SILVA, F. D.; AMADO, T. J. C; FERREIRA, A. O.; ASSMANN, J. M.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop–livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.190, p.60–69, 2014a.

SILVA, H. A.; DA FONSECA, A. F.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; DIAS, C. T. S. Maize and soybeans production in integrated system under no-tillage with different pasture combinations and animal categories. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 757-765, 2012.

SILVA, H. A.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; DA FONSECA, A. F.; CAIRES, E. F. & DIAS, C. T. S. Chemical and physical soil attributes in integrated crop-livestock system under no-tillage. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 946-955, 2014b.

SORATTO, R. P. & CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 675-688, 2008.

SOUZA, D.M.G. et al. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Ed.1. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.206-274.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 79-88, 2010b.

SPIERTZ, H. Avenues to meet food security. The role of agronomy on solving complexity in food production and resource use. **Europ. J. Agronomy**, v.43. p. 1–8, 2012.

TANSEY, G. Food and thriving people: paradigm shifts for fair and sustainable food systems. **Food and Energy Security**. 2. ed., p. 1–11, 2013.

THIERFELDER, C.; CHISUI, J. L.; GAMA, M.; CHEESMAN, S.; JERE, Z. D.; BUNDERSON, W. T.; EASH, N. S. e RUSINAMHODZI, L. Maize-based conservation agriculture systems in Malawi: Long-term trends in productivity. **Field Crops Research**, v.142, p. 47–57, 2013.

TOFFOLLI, L. C. B.; ASSMANN, T. S.; ASSMANN, A. L.; CASSOL, L. C.; TOFFOLLI, R. B.; NICOLA, V. e FERRAZZA, J. Application limestone forms and doses for Alfalfa in no-tillage system. **Revista Ciência Agronômica**, v.45 (Especial), p.906-913, 2014.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1609-1618, 2008.

TSUKAHARA, R.Y.; MAINARDES, S.G.; KOCHINSKI, E.G; SILVA, A.P. **Escala fenológica do milho**. Fundação ABC, p.1-14, 2010.

VAN RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011, 420 p.

VILELA, H.H. et al. Valor nutritivo de silagens de milho colhido em diversos estádios de maturação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.1192-1199, 2008.

VON UEXKÜLL, H.R. & MUTERT, E. Global extent, development and economic impact of acid soils. **Plant Soil**. v.171, p. 1–15, 1995.

VOROB'EVA, L. A. & AVDON'KIN, A. A. Potential soil acidity: notions and parameters. **Eurasian Soil Science**, v. 39, p. 377–386, 2006.

WEIRICH NETO et al. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 257-261, 2000.

WEISMANN, M. **Fase de desenvolvimento da cultura do milho**. Tecnologia e produção – Culturas: safrinha e inverno. Fundação MS. 2007.

WHITEHEAD, D.C. Nutrient elements in grassland: Soil–plant–animal relationships. Wallingford, **CAB International**, 369p, 2000. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=J44i3DHYN4C&oi=fnd&pg=PR13&dq=Nutrient+elements+in+grassland:+Soil%E2%80%93+plant%E2%80%93animal+relationships.&ots=mRDXxcZWZY&sig=NIRiT7bclWTT7CKIyrdVkgP1Pg#v=onepage&q=Nutrient%20elements%20in%20grassland%3A%20Soil%E2%80%93%20plant%E2%80%93animal%20relationships.&f=false>>. (11/08/2013).

ZEOULA, L.M. et al. Avaliação de cinco híbridos de milho (*Zea mays*, L.) em diferentes estádios de maturação. 4. Digestibilidade da matéria seca, matéria orgânica e fibra em detergente neutro da porção vegetativa e planta inteira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, p. 567-575, 2003.

ANEXO A – Valores de F referentes ao rendimento de matéria seca e proteína bruta de milho silagem

Tabela 6. Valores de F referentes ao rendimento de matéria seca (MS) e teor de proteína bruta (PB) do milho silagem durante 2009 a 2014, após calagem.

Fator de variação	MS	PB
TP ¹	0,48 ^{NS}	2,65 ^{NS}
TS ²	1,78 ^{NS}	5,91**
Períodos ³	37,09**	51,52**
TP x TS	3,09**	0,44 ^{NS}
TP x Períodos	2,15*	0,48 ^{NS}
TS x Períodos	1,21 ^{NS}	0,70 ^{NS}
TP x TS x Períodos	1,65*	0,62 ^{NS}

⁽¹⁾ TP: quatro métodos de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS); ⁽²⁾ TS: três propósitos de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistemas integrados de produção agropecuária – SIPA); ⁽³⁾ Períodos: durante 2009 a 2014. **: P < 0,05. *: P < 0,01. NS: não significativo.

Tabela 7. Valores de F referentes ao rendimento de matéria seca (MS) e teor de proteína bruta (PB) do milho silagem durante 2009 a 2014 após calagem dentro de método de preparo do solo.

TP ⁽¹⁾	Fator de variação	MS	PB
CC	TS ⁽²⁾	3,62 ^{NS}	0,39 ^{NS}
	Períodos ⁽³⁾	10,86**	13,01**
	TS x Períodos	1,37 ^{NS}	0,46 ^{NS}
CM	TS	2,81 ^{NS}	0,95 ^{NS}
	Períodos	12,48**	16,16**
	TS x Períodos	3,59**	1,18 ^{NS}
PD	TS	3,55 ^{NS}	3,12 ^{NS}
	Períodos	8,51**	17,58**
	TS x Períodos	0,85 ^{NS}	1,02 ^{NS}
PDS	TS	3,79 ^{NS}	5,67*
	Períodos	11,66**	10,05**
	TS x Períodos	0,93 ^{NS}	0,34 ^{NS}

⁽¹⁾ TP: quatro métodos de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS). ⁽²⁾ TS: três propósitos de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistemas integrados de produção agropecuária – SIPA). ⁽³⁾ Períodos: durante os anos de 2009-14. **: P < 0,05. *: P < 0,01. NS: não significativo.

Tabela 8. Valores de F referentes ao rendimento de matéria seca (MS) e teor de proteína bruta (PB) do milho silagem durante 2009 a 2014, após calagem, dentro de cada propósito de uso do azevém anual.

TS ⁽²⁾	Fator de variação	MS	PB
CS	TP ⁽¹⁾	1,91 ^{NS}	1,66 ^{NS}
	Períodos ⁽³⁾	12,36**	26,16**
	TP x Períodos	2,13*	0,61 ^{NS}
SPS	TP	3,46 ^{NS}	0,31 ^{NS}
	Períodos	13,66**	38,13**
	TP x Períodos	0,83 ^{NS}	0,42 ^{NS}
SIPA	TP	6,60*	19,22**
	Períodos	12,09**	8,10**
	TP x Períodos	2,45*	14,95**

⁽¹⁾ TP: quatro métodos de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS). ⁽²⁾ TS: três propósitos de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistemas integrados de produção agropecuária – SIPA). ⁽³⁾ Períodos: durante 2009 a 2014. **: P < 0,05. *: P < 0,01. NS: não significativo.

ANEXO B – Valores de F referentes ao desdobramento das interações

Tabela 9. Valores de F referentes ao desdobramento das interações observadas no rendimento de matéria seca (MS) do milho silagem durante 2009 a 2014, após calagem.

Fator de variação	TP x TS	TP x Períodos	TP x TS x Períodos
TP⁽¹⁾			
CC	2,85 ^{NS}	8,88**	3,56**
CM	1,85 ^{NS}	9,75**	4,62**
PD	4,45*	12,61**	4,93**
PDS	1,97 ^{NS}	12,61**	4,43**
TS⁽²⁾			
CS	1,36 ^{NS}	-	3,86**
SPS	3,07 ^{NS}	-	4,36**
SIPA	2,27 ^{NS}	-	4,59**
Períodos⁽³⁾			
2009/10	-	2,03 ^{NS}	4,03**
2010/11	-	2,10 ^{NS}	1,11 ^{NS}
2011/12	-	0,39 ^{NS}	1,79 ^{NS}
2012/13	-	4,24*	1,55 ^{NS}
2013/24	-	0,40 ^{NS}	0,49 ^{NS}

⁽¹⁾ TP: quatro métodos de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS). ⁽²⁾ TS: três propósitos de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistemas integrados de produção agropecuária – SIPA). ⁽³⁾ Períodos: durante 2009 a 2014. **: P < 0,05. ***: P < 0,01. NS: não significativo.

ANEXO C – Valores de F referentes aos atributos do solo para cada método de preparo do solo

Tabela 10. Valores de F referentes aos atributos acidez ativa (pH), potencial (H+Al) e trocável (Al³⁺) e saturação por bases (V) do solo, após 24 e 60 meses da calagem, para cada método de preparo do solo.

TP ⁽¹⁾	Fator de variação	Camadas (cm)				
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-30
Acidez ativa (pH)						
CC	TS ⁽²⁾	0,81 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,63 ^{NS}	0,88 ^{NS}	0,89 ^{NS}
	Períodos ⁽³⁾	8,54*	1,21 ^{NS}	2,42 ^{NS}	0,62 ^{NS}	0,08 ^{NS}
	TS x Períodos	1,58 ^{NS}	0,94 ^{NS}	0,44 ^{NS}	0,86 ^{NS}	0,75 ^{NS}
CM	TS	7,85*	1,50 ^{NS}	1,25 ^{NS}	0,67 ^{NS}	0,18 ^{NS}
	Períodos	2,72 ^{NS}	0,12 ^{NS}	9,64*	5,79*	1,47 ^{NS}
	TS x Períodos	0,93 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,95 ^{NS}
PD	TS	1,70 ^{NS}	2,94 ^{NS}	0,08 ^{NS}	7,25*	6,94*
	Períodos	22,22**	6,23*	2,50 ^{NS}	1,08 ^{NS}	4,03 ^{NS}
	TS x Períodos	2,50 ^{NS}	2,13 ^{NS}	0,73 ^{NS}	1,48 ^{NS}	0,94 ^{NS}
PDS	TS	3,06 ^{NS}	5,66*	7,55*	0,77 ^{NS}	2,15 ^{NS}
	Períodos	0,06 ^{NS}	31,97**	31,51**	6,63*	3,56 ^{NS}
	TS x Períodos	1,71 ^{NS}	0,70 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,65 ^{NS}	0,54 ^{NS}
Acidez potencial (H+Al)						
CC	TS	8,64*	2,39 ^{NS}	0,75 ^{NS}	1,20 ^{NS}	0,16 ^{NS}
	Períodos	1,74 ^{NS}	6,03*	21,54**	36,76**	36,37**
	TS x Períodos	1,31 ^{NS}	0,98 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,04 ^{NS}
CM	TS	5,34*	1,96 ^{NS}	4,59 ^{NS}	3,75 ^{NS}	2,15 ^{NS}
	Períodos	19,57**	59,39**	55,22**	81,22**	26,37**
	TS x Períodos	3,99 ^{NS}	1,55 ^{NS}	2,66 ^{NS}	2,14 ^{NS}	0,27 ^{NS}
PD	TS	5,75*	2,21 ^{NS}	2,29 ^{NS}	4,07 ^{NS}	10,59*
	Períodos	26,39**	21,84**	21,86**	17,14**	37,58**
	TS x Períodos	0,28 ^{NS}	0,79 ^{NS}	0,39 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,22 ^{NS}
PDS	TS	9,30*	3,74 ^{NS}	1,20 ^{NS}	0,80 ^{NS}	2,05 ^{NS}
	Períodos	6,02*	46,40**	34,95**	17,74**	17,70**
	TS x Períodos	0,23 ^{NS}	0,37 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}
Acidez trocável (Al ³⁺)						
CC	TS	10,15*	1,59 ^{NS}	2,01 ^{NS}	3,37 ^{NS}	70,43**
	Períodos	39,15**	54,03**	6,31*	32,70**	2,43 ^{NS}
	TS x Períodos	3,56 ^{NS}	1,71 ^{NS}	2,74 ^{NS}	4,37 ^{NS}	0,69 ^{NS}
CM	TS	5,40*	0,45 ^{NS}	2,65 ^{NS}	5,80 ^{NS}	1,21 ^{NS}
	Períodos	26,05**	244,46**	1,20 ^{NS}	0,02 ^{NS}	2,30 ^{NS}
	TS x Períodos	3,05 ^{NS}	0,20 ^{NS}	2,95 ^{NS}	5,13 ^{NS}	0,33 ^{NS}
PD	TS	7,40*	6,28*	1,37 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,61 ^{NS}
	Períodos	20,02**	10,79*	7,07*	0,39 ^{NS}	9,50*
	TS x Períodos	7,30*	0,16 ^{NS}	1,23 ^{NS}	1,26 ^{NS}	36,53**
PDS	TS	3,58 ^{NS}	7,48*	3,23 ^{NS}	3,90 ^{NS}	2,96 ^{NS}
	Períodos	17,17**	4,33 ^{NS}	14,62*	0,58 ^{NS}	0,18 ^{NS}
	TS x Períodos	2,33 ^{NS}	9,72*	4,81 ^{NS}	8,38 ^{NS}	3,76 ^{NS}
Saturação por bases (V)						
CC	TS	4,19 ^{NS}	3,87 ^{NS}	0,53 ^{NS}	1,11 ^{NS}	2,55 ^{NS}
	Períodos	1,00 ^{NS}	0,63 ^{NS}	19,76**	23,63**	25,88**
	TS x Períodos	1,42 ^{NS}	1,91 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,15 ^{NS}	2,08 ^{NS}
CM	TS	1,64 ^{NS}	0,21 ^{NS}	1,23 ^{NS}	1,15 ^{NS}	0,67 ^{NS}
	Períodos	1,48 ^{NS}	21,57**	118,42**	241,49**	44,03**
	TS x Períodos	3,70 ^{NS}	4,05 ^{NS}	0,78 ^{NS}	4,72*	1,43 ^{NS}
PD	TS	15,77**	1,09 ^{NS}	0,74 ^{NS}	0,91 ^{NS}	1,59 ^{NS}
	Períodos	29,64**	47,13**	53,22**	33,19**	16,92**
	TS x Períodos	0,36 ^{NS}	0,28 ^{NS}	0,71 ^{NS}	0,57 ^{NS}	0,22 ^{NS}
PDS	TS	1,86 ^{NS}	1,20 ^{NS}	1,16 ^{NS}	0,61 ^{NS}	1,71 ^{NS}
	Períodos	2,61 ^{NS}	60,32**	81,17**	31,70**	30,74**
	TS x Períodos	0,01 ^{NS}	0,24 ^{NS}	0,57 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,26 ^{NS}

⁽¹⁾ TP: quatro métodos de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS); ⁽²⁾ TS: três propósitos de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA); ⁽³⁾ Períodos: 24 e 60 meses após a calagem. **: P < 0,05. *: P < 0,01. NS: não significativo.

ANEXO D – Valores de F referentes aos atributos do solo para cada propósito de uso do azevém anual

Tabela 11. Valores de F referentes a acidez ativa (pH), potencial (H+Al) e trocável (Al^{3+}) e saturação por bases (V) do solo, após 24 e 60 meses da calagem, para cada propósito de uso do azevém anual.

TS ⁽²⁾		Fator de variação	Camadas (cm)				
			0-5	5-10	10-15	15-20	20-30
Acidez ativa (pH)							
CS	TP ⁽¹⁾		12,19**	4,57*	8,52**	8,47**	2,28 ^{NS}
	Períodos ⁽³⁾		7,66*	15,97**	11,12**	6,30*	5,19*
	TP x Períodos		4,74*	5,03*	0,75 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,14 ^{NS}
SPS	TP		13,05**	4,26*	7,11**	1,38 ^{NS}	1,14 ^{NS}
	Períodos		3,40 ^{NS}	1,80 ^{NS}	17,35**	0,15 ^{NS}	0,49 ^{NS}
	TP x Períodos		4,20 ^{NS}	2,86 ^{NS}	1,13 ^{NS}	1,28 ^{NS}	1,16 ^{NS}
SIPA	TP		7,08**	16,30**	9,95**	5,17*	1,19 ^{NS}
	Períodos		0,13 ^{NS}	0,76 ^{NS}	8,31*	1,26 ^{NS}	1,20 ^{NS}
	TP x Períodos		2,81 ^{NS}	3,23 ^{NS}	2,82 ^{NS}	0,46 ^{NS}	0,41 ^{NS}
Acidez potencial (H+Al)							
CS	TP		17,71**	10,48**	23,45**	15,37**	5,07*
	Períodos		22,89**	36,93**	49,17**	47,36**	41,22**
	TP x Períodos		0,71 ^{NS}	1,30 ^{NS}	0,57 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,05 ^{NS}
SPS	TP		7,26**	3,70 ^{NS}	4,93*	4,87*	0,51 ^{NS}
	Períodos		9,04*	40,85**	47,10**	28,62**	28,79**
	TP x Períodos		3,29 ^{NS}	1,72 ^{NS}	0,82 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,02 ^{NS}
SIPA	TP		4,97*	12,12**	2,91 ^{NS}	2,32 ^{NS}	2,10 ^{NS}
	Períodos		11,00**	21,21**	37,26**	39,71**	39,05**
	TP x Períodos		0,91 ^{NS}	1,09 ^{NS}	1,45 ^{NS}	0,90 ^{NS}	0,10 ^{NS}
Acidez trocável (Al ³⁺)							
CS	TP		3,13 ^{NS}	6,41*	3,12 ^{NS}	3,97 ^{NS}	2,95 ^{NS}
	Períodos		16,04**	0,86 ^{NS}	0,09 ^{NS}	18,87**	3,00 ^{NS}
	TP x Períodos		2,29 ^{NS}	5,97*	4,65 ^{NS}	1,75 ^{NS}	6,03*
SPS	TP		23,77**	5,16*	4,95*	5,24*	2,89 ^{NS}
	Períodos		43,79**	0,11 ^{NS}	0,62 ^{NS}	0,41 ^{NS}	0,20 ^{NS}
	TP x Períodos		8,55**	14,76**	4,05 ^{NS}	1,16 ^{NS}	0,74 ^{NS}
SIPA	TP		39,28**	10,41**	19,62**	2,80 ^{NS}	1,29 ^{NS}
	Períodos		58,31**	0,57 ^{NS}	8,81*	2,96 ^{NS}	0,25 ^{NS}
	TP x Períodos		11,03**	7,95*	2,09 ^{NS}	4,36 ^{NS}	2,95 ^{NS}
Saturação por bases (V)							
CS	TP		12,86**	9,56**	16,71**	7,98**	1,25 ^{NS}
	Períodos		13,79**	21,39**	69,50**	43,79**	30,34**
	TP x Períodos		5,83*	2,63 ^{NS}	2,15 ^{NS}	0,83 ^{NS}	0,81 ^{NS}
SPS	TP		13,84**	3,18 ^{NS}	6,09*	5,67*	1,22 ^{NS}
	Períodos		3,70 ^{NS}	117,08**	115,30**	75,76**	36,77**
	TP x Períodos		9,01**	13,47**	1,50 ^{NS}	0,73 ^{NS}	0,22 ^{NS}
SIPA	TP		8,53**	10,32**	12,51**	4,18*	3,25 ^{NS}
	Períodos		5,18*	24,82**	68,36**	56,61**	37,09**
	TP x Períodos		0,83 ^{NS}	5,58*	1,56 ^{NS}	0,27 ^{NS}	0,99 ^{NS}

⁽¹⁾ TP: quatro métodos de preparo do solo (cultivo convencional – CC, cultivo mínimo – CM, plantio direto – PD e PD com subsolagem bianual – PDS); ⁽²⁾ TS: três propósitos de uso do azevém anual (cobertura do solo – CS, silagem pré-secada – SPS e pastejo animal em sistema integrado de produção agropecuária – SIPA); ⁽³⁾ Períodos: 24 e 60 meses após a calagem. **: P < 0,05. *: P < 0,01. NS: não significativo.