

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E INDICADORES DE
QUALIDADE DE SOLOS EM SISTEMAS CONSERVACIONISTAS
DE MANEJO DE LONGA DURAÇÃO

Fernando Viero
(Tese)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E INDICADORES DE
QUALIDADE DE SOLOS EM SISTEMAS CONSERVACIONISTAS
DE MANEJO DE LONGA DURAÇÃO

FERNANDO VIERO
Eng. Agrônomo (UFRGS)
Ms. Ciência do Solo (UFRGS)

Tese apresentada como um dos
requisitos para obtenção do
Grau de Doutor em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Maio 2015

CIP - CATALOGAÇÃO INTERNACIONAL NA PUBLICAÇÃO

Viero, Fernando

Características químicas e indicadores de qualidade de solos em sistemas conservacionistas de manejo de longa duração / Fernando Viero. -- 2015.
95 f.

Orientador: Cimélio Bayer.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-RS, 2015.

1. Plantio Direto. 2. Matéria Orgânica. 3. Atributos Químicos. 4. Calagem. I. Bayer, Cimélio, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FERNANDO VIERO

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E INDICADORES DE
QUALIDADE DE SOLOS EM SISTEMAS CONSERVACIONISTAS
DE MANEJO DE LONGA DURAÇÃO

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Aprovada em 08 de maio de 2015.
Homologada em 21 de maio de 2015.

BANCA EXAMINADORA:

Dr. Felipe de Campos Carmona
UFRGS

Prof. Frederico Costa Beber Vieira
Universidade Federal do Pampa

Dra. Cecília Estima Sacramento dos Reis
UFRGS

Orientador - Prof. Cimélio Bayer
Departamento de Solos/UFRGS

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Clizério e Adelaide Viero, e à
toda a minha família.*

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Cimélio Bayer pela orientação, amizade e confiança dedicada desde os tempos de Iniciação Científica.

Ao Professor Humberto Blanco-Canqui e Dr. Charles Shapiro pela colaboração, orientação durante o período do Doutorado Sanduíche na Universidade de Nebraska – Lincoln, bem como pelo financiamento das análises lá realizadas.

Ao Professor João Mielniczuk pelos ensinamentos e pelo legado deixado nos experimentos de Manejo na Estação.

A todos os colegas do Manejo pela amizade e companheirismo de toda hora.

Aos bolsistas de IC que sempre colaboraram na realização do trabalho.

Aos colegas do Departamento de Solos e do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRGS.

Ao técnico do Laboratório de Manejo e Biogeoquímica Ambiental, Luiz Antônio (Tonho), e ao secretário Jader, pelos auxílios sempre providenciais.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo ensino de qualidade e gratuito.

À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado e de doutorado sanduíche.

Ao Departamento de Solos, ao PPGSolos e à Estação Experimental.

Aos professores do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelos conhecimentos repassados.

À minha família que sempre esteve apoiando em tudo: Nona, Pai, Mãe, Cele, Jonei, Ebe, Carmen, Anézia, Glória, Pedro, Lili, Augusto, Rita, Marcelo, Luíza, pela compreensão, estímulo, exemplos de vida.

Um agradecimento muito especial à Jakeline Rheinheimer pelo amor, carinho, paciência dedicados nesses quatro anos de curso.

À Família Rheinheimer que me acolheu carinhosamente.

A todos que de alguma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho...

...o meu sincero agradecimento.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLOS EM SISTEMAS CONSERVACIONISTAS DE MANEJO DE LONGA DURAÇÃO¹

Autor: Eng. Agr. Ms. Fernando Viero

Orientador: Prof. Dr. Cimélio Bayer

RESUMO – O plantio direto (PD), associado a plantas de cobertura, pode melhorar os atributos químicos e a qualidade do solo, dependendo do tipo de solo. O objetivo da pesquisa foi avaliar o impacto do PD, associado a diferentes sistemas de cultura, durante longo período (~30 anos) sobre os atributos químicos e indicadores de qualidade de um solo de clima subtropical e de um solo de clima temperado (Estudos I e II), e da influência de sistemas de cultura sobre a eficiência da calagem superficial em PD em um solo de clima subtropical (Estudo III). Nos estudos I e II foram avaliados experimentos instalados em 1985 em Eldorado do Sul (Brasil) e em Concord (EUA) cultivados em PD e preparo convencional (PC). No experimento em Eldorado do Sul foram utilizados três sistemas de cultura: aveia (*Avena strigosa*)/milho (*Zea mays*) (A/M), ervilhaca (*Vicia sativa*)/milho (V/M) e aveia+ervilhaca/milho+caupi (*Vigna unguiculata*) (AV/MC), em duas doses de N (0 e 180 kg ha⁻¹). O experimento em Concord foi conduzido com dois sistemas de cultura: milho contínuo e milho-soja (*Glycine max*), em três doses de N (0, 80 e 160 kg ha⁻¹). O Estudo III foi conduzido em um experimento instalado em 1983 em PD, sendo avaliados atributos químicos relacionados à acidez do solo antes e dois anos após a calagem (5,0 Mg ha⁻¹) em cinco sistemas de cultura: pousio/M (P/M), A/M, AV/M, AV/MC, LL (*Lablab purpureus*)+M (LLM), com e sem calagem e em duas doses de N (0 e 180 kg ha⁻¹). As práticas de manejo de longa duração influenciaram os atributos químicos do solo, principalmente, na camada de 0 a 10 cm de profundidade, na qual o PD aumentou, em média, 23 % o teor de C orgânico do solo (COS), 30 % o teor de nitrogênio total (NT) e 100 % o teor de P disponível, em relação ao PC, nos dois solos. O COS e o NT aumentaram na ordem A/M<V/M<AV/MC, enquanto que, o pH, o P disponível e a saturação por bases reduziram na ordem A/M>V/M>AV/MC. O COS e o NT não foram influenciados, mas o pH e a saturação por bases aumentaram na rotação milho-soja. O COS aumentou 5% na dose de 160 kg N ha⁻¹ no solo temperado. A adubação nitrogenada reduziu o pH e a saturação por bases nos dois solos, contudo reduziu 30 % o P disponível no solo subtropical, mas aumentou 20 % no solo temperado. O PD aumentou o estoque e o índice de estratificação (IE) do COS e do C orgânico particulado (COP) e o índice de labilidade (IL) nos dois solos. A inclusão de leguminosas aumentou o IE do COS e COP, e o IL em PD. Os sistemas com leguminosas de cobertura de solo aumentaram a acidificação e a saturação por Al³⁺ e reduziram a saturação por bases, comparado com sistemas exclusivamente de gramíneas. Após dois anos da calagem superficial o pH foi maior que 5,0 e a saturação por Al³⁺ foi < 4,0 % até 5 cm, independente do sistemas de cultura, porém, a saturação por bases aumentou para > 50 % até 7,5cm. As práticas de manejo apresentam comportamento similar entre os diferentes solos, e os sistemas de culturas não influenciaram na eficiência da calagem na camada superficial do solo.

Palavras-chave: Plantio direto, matéria orgânica, atributos químicos, calagem.

¹ Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (95 p.) Maio, 2015. Trabalho realizado com apoio financeiro do Capes, CNPq e UNL.

SOIL CHEMICAL CHARACTERISTICS AND QUALITY INDEX UNDER LONG-TERM CONSERVATION MANAGEMENT SYSTEMS²

Author: Eng. Agr. MsC Fernando Viero

Adviser: Prof. Dr. Cimélio Bayer

ABSTRACT – No-till (NT), associated with cover crops, can improve soil chemical properties and quality, which the magnitude of the effects possibly is dependent of soil type. The objective of this research was to evaluate the impact of NT, associated with different cropping systems, cultivated for long-term (~ 30 years) on soil chemical properties and quality indicators of subtropical soil in Southern Brazil and a temperate soil in Midwest US (Studies I and II), and cropping systems influence on liming efficiency in a subtropical soil under long-term NT (Study III). In Studies I and II were used two long-term experiments installed in 1985 in Eldorado do Sul (Brazil) and Concord (US) carried out under NT and conventional tillage (CT). In Brazil, the experiment was composed by three cropping systems: oat (*Avena strigosa*) / corn (*Zea mays*) (O/C), vetch (*Vicia sativa*)/corn (V/C) and oat+vetch/corn+cowpea (*Vigna unguiculata*) (OV/CC), with two N rates (0 and 180 kg ha⁻¹). In US, the experiment was conducted with two crop rotations: continuous corn and corn-soybean (*Glycine max*), with three N rates (0, 80 and 160 kg ha⁻¹). The Study III was conducted in a third experiment under NT and assessed soil chemical attributes related to acidity, before and two years after liming (5.0 Mg ha⁻¹), in five cropping systems: fallow/C (F/C), O/C, OV/C,OV/CC, LL (*Lablab purpureus*)+C LLM), with and without liming and two N rates (0 and 180 kg ha⁻¹). The long-term management effects on soil chemical properties were confined from 0 to 10 cm depth, in which NT system increased, in average, 23 % of soil organic C (SOC), 30 % of total N (TN), 100 % of available P, compared with CT in subtropical and temperate soil. Subtropical cropping systems increased SOC and TN in the order O/C<V/C<OV/CC, while soil pH, available P and base saturation decreased in the order O/C<V/C<OV/CC. Temperate crop rotation had no effects on SOC and TN, but soil pH and base saturation increased in corn-soybean rotation. Nitrogen fertilization increased 5 % of SOC in the N rate of 160 kg ha⁻¹ in temperate soil. Nitrogen fertilization decreased soil pH and base saturation in both soils, but decreased 30% available P in subtropical soil, but increased 20% in temperate soil. No-till increased SOC and particulate organic C (POC) stocks, SOC and POC stratification ratio (SR) and lability index (LI) in both soils. Legume-based cropping systems increased the SOC and POC SR and LI under NT. Besides, legume-based cropping systems increased soil acidification and Al³⁺ saturation, and decreased base saturation, compared with grass crops. After two years of superficial liming, soil pH increased to >5.0 and Al³⁺ saturation decreased to <4.0% up to 5 cm, regardless of cropping systems, and base saturation increased to >50% up to 7.5 cm depth. Long-term management practices have similar behavior in the subtropical and temperate soil, and cropping systems has no influence on liming efficiency in topsoil.

Keywords: No-till, organic matter, chemical properties, liming.

² Doctoral thesis in Soil Science. Soil Science Graduate Program, Agronomy College, Federal University of Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (95 p.) May, 2015. This work had financial support of Capes, CNPq and UNL.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. HIPÓTESES.....	3
2.1. Geral.....	3
2.2. Específicas	3
3. OBJETIVOS.....	4
3.1. Geral.....	4
3.2. Específicos	4
4. ESTUDO I - EFEITO DE SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO DE LONGA DURAÇÃO SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS EM SOLO DE CLIMA SUBTROPICAL E TEMPERADO.....	5
4.1. INTRODUÇÃO.....	6
4.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
4.2.1. Descrição do Experimento no Sul do Brasil.....	10
4.2.2. Descrição do Experimento na região Meio-Oeste dos EUA	11
4.2.3. Coleta e Análise de Solo	12
4.2.4. Adição Anual de Carbono.....	13
4.2.5. Análise Estatística	14
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4.3.1. Carbono Orgânico do Solo e Nitrogênio Total	15
4.3.2. pH do Solo e Fósforo Disponível	19
4.3.3. Potássio Extraível e Saturação por Bases.....	23
4.4. CONCLUSÕES.....	25
5. ESTUDO II – MATÉRIA ORGÂNICA E INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO AFETADOS POR SISTEMAS DE MANEJO DE LONGA DURAÇÃO EM DIFERENTES SISTEMAS AGRÍCOLAS.....	26
5.1. INTRODUÇÃO.....	27
5.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
5.2.1. Experimento na Região Sul do Brasil	30
5.2.2. Experimento na Região Meio-Oeste dos EUA.....	31
5.2.3. Coleta e Análise de Solo	32
5.2.4. Produção de Resíduo Vegetal e Adição de Carbono	34
5.2.5. Análise Estatística	34
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.3.1. Produção de Resíduos e Adição de Carbono no Solo.....	35
5.3.2. Carbono Orgânico Total, Carbono Orgânico Particulado e Estoques de Carbono no Solo.....	36
5.3.3. Índice de Estratificação e Labilidade do Carbono Orgânico do Solo	42
5.4. CONCLUSÕES.....	46

6. ESTUDO III - EFEITO DE SISTEMAS DE CULTURA SOBRE A ACIDEZ DO SOLO E EFICIÊNCIA DA REAPLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO	47
6.1. INTRODUÇÃO	48
6.2. MATERIAL E MÉTODOS	50
6.2.1. Caracterização e Delineamento Experimental.....	50
6.2.2. Histórico de Uso e Manejo.....	52
6.2.3. Coleta e Análise de Solo	53
6.2.4. Análise Estatística	54
6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
6.3.1. Efeito dos Sistemas de Culturas Sobre os Componentes da Acidez do Solo em Plantio Direto de Longa Duração	54
6.3.2. Efeito da Reaplicação de Calcário Sobre os Indicadores da Acidez do Solo.....	59
6.3.2.4. Relação entre Indicadores da Acidez do Solo em Plantio Direto de Longa Duração após Reaplicação Superficial de Calcário	63
6.4. CONCLUSÕES	65
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
9. APÊNDICES	79

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Série climática da Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Eldorado do Sul, RS – BRA (1970 a 2012) e da Estação Meteorológica do Laboratório Agrícola Haskell, Concord, NE – USA, do Centro Climático Nacional (1981 a 2010).....	10
Figura 2. Adição média anual de C ao solo pelos sistemas de culturas, cultivados com diferentes doses de N em PC e PD no experimento no Sul do Brasil (26 anos) e no Meio-Oeste dos EUA (28 anos).....	36
Figura 3. Relação entre adição média anual de C e o COS na camada de 0 a 10 cm no solo subtropical e no solo temperado cultivados por longa duração em PC e PD	37
Figura 4. Efeito dos sistemas de preparo de solo de longa duração sobre a IE do COS e COP em um solo de clima subtropical na região Sul do Brasil, e em um solo de clima temperado na região Meio-Oeste dos EUA, na média dos sistemas de cultura e adubação nitrogenada.....	43
Figura 5. Efeito de sistemas de cultura sobre o IE do COS e do COP em um solo de clima subtropical e temperado cultivados em PD por longa duração..	44
Figura 6. Efeito dos sistemas de preparo e sistemas de cultura em PD sobre o IL do C na camada de 0 a 10 cm no solo de clima subtropical e no solo de clima temperado cultivados por longa duração.....	46
Figura 7. Precipitação e temperatura média mensal da Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande, Eldorado do Sul, RS – BRA (1970 a 2012)	51

Figura 8. Efeito dos sistemas de culturas sobre os componentes da acidez do solo em PD de longa duração cultivado sem adubação nitrogenada.....	57
Figura 9. Relação entre os indicadores de acidez do solo após dois anos da reaplicação superficial de calcário em um Argissolo Vermelho Distrófico típico cultivado por 28 anos com diferentes sistemas de culturas e adubação nitrogenada de cobertura em PD.....	64

RELAÇÃO DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1. Caracterização e descrição do experimento na região Sul do Brasil e na região Meio-Oeste dos EUA.....	9
Tabela 2. Adição anual de C no experimento na região Sul do Brasil e na região Meio-Oeste dos EUA pelos sistemas de cultura cultivados em diferentes doses de N em PC e PD	14
Tabela 3. Efeito das práticas de manejo do solo de longa duração sobre os atributos químicos do solo no experimento em Eldorado do Sul e em Concord	16
Tabela 4. Efeito de sistemas de preparo de solo, sistemas de cultura e adubação nitrogenada sobre os atributos químicos de um solo franco argilo-arenoso cultivado por 26 anos na região Sul do Brasil.....	17
Tabela 5. Efeito de sistemas de preparo de solo, rotações de cultura e doses de N sobre os atributos químicos de um solo franco argilo-siltoso cultivado por 28 anos na região do Meio-Oeste dos EUA	18
Tabela 6. Densidade do solo nos diferentes sistemas de cultura cultivados em PC e PD no solo de clima subtropical e no solo de clima temperado na média dos níveis de adubação nitrogenada.....	33
Tabela 7. Carbono orgânico do solo, frações do COS e estoques de C em um solo franco argilo-arenoso, de clima subtropical, cultivado com diferentes sistemas de cultura e doses de N em PC e PD na região Sul do Brasil	38
Tabela 8. Carbono orgânico do solo, estoque de COS, C orgânico particulado e estoque de COP em um solo franco argilo-siltoso cultivado com diferentes rotações de cultura e doses de N em PC e PD na região do Meio-Oeste dos EUA.....	39
Tabela 9. Rendimento, exportação de nutrientes e alcalinidade gerada pela colheita de grãos de milho em diferentes sistemas de cultura cultivados sem adubação nitrogenada durante 28 anos em PD	58

Tabela 10. Efeito da reaplicação de calcário sobre os componentes da acidez de um Argissolo Vermelho distrófico cultivado com diferentes sistemas de cultura sem adubação nitrogenada em PD de longa duração	60
Tabela 11. Efeito da reaplicação de calcário sobre os componentes da acidez de um Argissolo Vermelho distrófico cultivado com diferentes sistemas de cultura com adubação nitrogenada de cobertura em PD de longa duração	61

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Páginas
Apêndice 1. Atributos químicos do solo de clima subtropical, na região Sul do Brasil após 26 anos de cultivo utilizados no Estudo I.....	80
Apêndice 2. Atributos químicos do solo de clima temperado, na região Meio-Oeste dos EUA após 28 anos de cultivo utilizados no Estudo I.....	82
Apêndice 3. Atributos do solo de clima subtropical, na região Sul do Brasil, após 26 anos de cultivo utilizados no Estudo II	84
Apêndice 4. Atributos do solo de clima temperado, na região Meio-Oeste dos EUA após 28 anos de cultivo utilizados no Estudo II	86
Apêndice 5. Atributos químico do Argissolo Vermelho Distrófico típico utilizados no Estudo III	88

1. INTRODUÇÃO GERAL

A interação entre diversos fatores como o tipo de solo, clima e práticas de manejo, tais como preparo de solo, plantas de cobertura e adubação mineral impactam a qualidade do solo, afetando a sua fertilidade, podendo comprometer sua capacidade produtiva. Os sistemas convencionais de produção agrícola com intenso revolvimento e altas perdas de solo têm sido relacionados aos efeitos negativos sobre a fertilidade do solo e ao ambiente. Desse modo, a adequação dos sistemas de cultivo ao menor impacto ambiental, possibilitando a obtenção de satisfatórios rendimentos de grãos sem comprometer a fertilidade do solo a longo prazo e reduzindo os riscos de poluição é fundamental para uma agricultura sustentável.

O intenso revolvimento do solo pode ocasionar grande perda da fertilidade natural dos solos, devido às perdas de solo por erosão, reduzindo os teores de matéria orgânica do solo e de nutrientes, os quais, geralmente estão associados à degradação física dos solos. Com o objetivo de minimizar as perdas de solo, os sistemas de culturas convencionais foram gradativamente convertidos a sistemas conservacionistas de solo, sem revolvimento. Com isso, a manutenção de resíduos de plantas, fertilizantes e corretivos sobre o solo modifica a dinâmica do solo, concentrando os processos químicos, físicos e biológicos nas camadas superficiais, criando um gradiente de concentração em profundidade.

Nesse sentido, os experimentos de longa duração são importantes ferramentas para o estudo dos atributos químicos do solo em diferentes sistemas de cultivos, pois permitem analisar os efeitos cumulativos do manejo do solo sobre sua fertilidade do solo. A avaliação desses experimentos possibilita observar a evolução desses atributos de solo no tempo, de acordo com as condições edafoclimáticas em que o solo se encontra, bem como tipo

de preparo, a composição dos sistemas de rotações de culturas e práticas de manejos que são submetidos.

Como a influência do manejo e da rotação de culturas nas propriedades do solo depende do ambiente e do tempo de duração do sistema de plantio direto que tem sido praticado em um determinado tipo de solo, os experimentos de longa duração são fundamentais para quantificar e qualificar os efeitos de manejo sobre a produtividade e a fertilidade do solo. A partir dessa avaliação é possível conjugar as práticas de manejo com diferentes sistemas de culturas que melhor respondem ao cultivo agrícola, não comprometendo a capacidade produtiva do solo, e minimizando os riscos de produção, bem como produzindo de forma sustentável, de modo que o solo cumpra a sua função.

2. HIPÓTESES

2.1. Geral

A adoção do sistema de plantio direto (PD) por longo período aumenta o teor de C e N e a fertilidade do solo, principalmente com a introdução de culturas leguminosas nos sistemas de culturas e com uso da adubação nitrogenada.

2.2. Específicas

1. O sistema de PD, a introdução de leguminosas e uso de adubação nitrogenada por longo período aumentam o teor de C orgânico do solo, nitrogênio total e aumentam a disponibilidade de nutrientes, independentemente do tipo de solo (de clima subtropical ou clima temperado).
2. A adoção de PD e inclusão de leguminosas por longo período aumentam a fração lábil da matéria orgânica, indicando sistemas de manejo de melhor qualidade.
3. A introdução de plantas de cobertura do solo no inverno e verão, consorciadas com culturas comerciais, influenciam na eficiência da calagem superficial em PD de longa duração sobre os componentes da acidez do solo.

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Avaliar o efeito de diferentes sistemas de preparo de solo, sistemas e rotações de culturas e doses de N sobre os atributos químicos e indicadores de qualidade em um solo de clima subtropical, na região Sul do Brasil, e um solo de clima temperado, na região Meio-Oeste dos EUA; e a eficiência da calagem em PD de longa duração cultivado com diferentes sistemas de culturas no Sul do Brasil.

3.2. Específicos

1. Avaliar o efeito de diferentes sistemas de preparo de solo, sistemas e rotações de cultura e doses de N sobre os atributos químicos de um solo franco argilo-arenoso de clima subtropical e um solo franco argilo-siltoso de clima temperado.
2. Avaliar o efeito de práticas de manejo do solo de longa duração sobre o C orgânico e indicadores de qualidade de um solo franco argilo-arenoso na região Sul do Brasil e um franco argilo-siltoso na região Meio-Oeste dos EUA cultivados com diferentes sistemas e rotações de culturas e doses de N em preparo convencional e plantio direto.
3. Avaliar o efeito de diferentes sistemas de culturas na eficiência da calagem superficial em plantio direto de longa duração sobre o pH do solo, saturação por alumínio e saturação por bases em um Argissolo Vermelho Distrófico típico.

4. ESTUDO I - EFEITO DE SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO DE LONGA DURAÇÃO SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS EM SOLO DE CLIMA SUBTROPICAL E TEMPERADO

RESUMO – A adoção de práticas de manejo de longo prazo em solo de clima subtropical e temperado pode apresentar diferente comportamento sobre a fertilidade do solo. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes sistemas de preparo de solo e de cultura e doses de nitrogênio (N) de longa duração sobre os atributos químicos de um solo franco argilo-arenoso (Paleudult) de clima subtropical e um franco argilo-siltoso (Hapludoll) de clima temperado. Dois experimentos de longa duração instalados em 1985 foram utilizados, um na região Sul do Brasil, composto por dois sistemas de preparo do solo: convencional (PC) e plantio direto (PD); três sistemas de cultivo: aveia (*Avena strigosa*) / milho (*Zea mays*) (A/M), ervilhaca (*Vicia sativa*) / milho (V/M) e aveia + ervilhaca / milho + caupi (*Vigna unguiculata*) (AV/MC); e duas doses de N (0 e 180 kg N ha⁻¹), e outro na região Meio-Oeste dos EUA, composto por dois sistemas de preparo: PC e PD; duas rotações de cultura: milho contínuo e milho-soja (*Glycine max*); e três doses de N (0, 80 e 160 kg N ha⁻¹). As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, em 2011 no Brasil e 2014 nos EUA. Os atributos químicos analisados foram C orgânico do solo (COS), N total (NT), pH do solo, P e K disponíveis, e saturação por bases. Os efeitos das práticas de manejo de longa duração sobre os atributos químicos do solo foram, primariamente, confinados na camada de 0 a 10 cm de profundidade. A adoção de PD aumentou, em média, 23 % o teor de C orgânico do solo (COS), 30 % o N total (NT) e 100 % o P disponível, mas não influenciou o pH, teor de K e saturação por bases em ambos os solos, comparado ao PC. Por sua vez, no solo subtropical a inclusão de leguminosas aumentou os teores de COS e NT na ordem A/M<V/M<AV/MC, enquanto que, o pH, P disponível e saturação por bases reduziram na ordem A/M>V/M>AV/MC. No solo temperado a rotação milho-soja não influenciou os teores de COS e NT, mas aumentou o pH e a saturação por bases, comparado ao milho contínuo. A adubação nitrogenada não influenciou o COS subtropical, mas aumentou em 5 % no solo temperado na maior dose de N. A adubação nitrogenada reduziu o pH e a saturação por bases nos dois solos, porém, reduziu 30 % o P disponível no solo subtropical e aumentou 20 % no solo temperado, quando comparado a maior dose de N com os tratamentos sem N. De forma geral, os preparos de solo e a adubação nitrogenada apresentam comportamento similar sobre os atributos químicos do solo, exceto P, porém, o efeito dos sistemas de culturas difere entre o solo subtropical e temperado.

4.1. INTRODUÇÃO

A adoção de plantio direto (PD) como prática de manejo tem aumentado mundialmente, partindo de 45 milhões de hectares (Mha) em 1999 para 105 Mha em 2008 (Derpsch & Friedrich, 2009). No Brasil, a atual área sob PD, introduzido na década 70, foi de aproximadamente 32 Mha (FEBRAPDP, 2012). Nos EUA, em 1994, a área cultivada em PD foi de aproximadamente 15,7 Mha, aumentando para 26,5 Mha em 2007, a qual corresponde a 25 % da área cultivada (Derpsch & Friedrich, 2009). De acordo com levantamentos recentes, no Brasil, aproximadamente 70 % da área destinada ao cultivo de grãos é manejada em PD. Nos EUA, a área em PD foi variável de acordo com a cultura, sendo que, 50 % da área de soja e 25 % da área de milho são cultivadas sob PD (USDA-ERS, 2014).

Os benefícios do PD no controle da erosão do solo, na conservação da água e na redução dos custos de produção são relativamente bem conhecidos em diferentes climas (Zanatta et al., 2007; Kassam et al., 2009; Derpsch et al., 2010; Karlen et al., 2013b; Scopel et al., 2013; Palm et al., 2014). Contudo, os impactos do cultivo em PD por longo período sobre os atributos químicos do solo ainda necessitam de mais estudos. Os efeitos do PD sobre os atributos químicos do solo dependem da quantidade e qualidade dos resíduos adicionados (Six et al., 2002; Bayer et al., 2009), do clima (Six et al., 2002; Ogle et al., 2005), do tipo de solo (Ferreira et al., 2012; Kumar et al., 2012; Ferreira et al., 2013; Palm et al., 2014), e do tempo de cultivo (Franzluebbers, 2010; Aziz et al., 2013; Neugschwandtner et al., 2014). Todavia, os efeitos do PD sobre os atributos químicos do solo ao longo do tempo podem variar de acordo com o ambiente. Diversos estudos têm avaliado os efeitos do PD sobre o C orgânico do solo (COS) em solos de climas tropicais ou subtropicais (Bayer et al., 2000; Bayer et al., 2001; Six et al., 2002; Bayer et al., 2006c; Vieira et al., 2009b; Scopel et al., 2013) e de solos temperados (Franzluebbers, 2002b; Ogle et al., 2005; Blanco-Canqui & Lal, 2007; Blanco-Canqui & Lal, 2009; Schjønning & Thomsen, 2013; Scopel et al., 2013). Contudo, poucos estudos têm comparado ou discutido os impactos do PD de longa duração sobre os atributos químicos em solos subtropicais e temperados (Six et al., 2002; Ogle et al., 2005).

Six et al. (2002) verificaram que o aumento do COS até 10 cm de profundidade em PD foi dependente do tempo de adoção do sistema, bem como, as taxas de acúmulo de COS variaram de 0,43 e 0,16 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ no solo tropical e temperado, respectivamente. Por sua vez, em solos tropicais cultivados em PD de 20 a 28 anos, Scopel et al. (2013) observaram taxas de acúmulo de COS que variaram de 0,4 a 1,9 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ até 40 cm de profundidade. Contudo, em solo de clima temperado, os mesmos autores verificaram taxas menores de acúmulo de COS em PD, que variaram de 0,1 a 0,2 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ até 30 cm de profundidade, após 12 a 15 anos de cultivo. Do mesmo modo, Ogle et al. (2005) verificaram incremento de 23 e 17 % no teor de COS, em solo tropical e temperado, respectivamente, decorridos 20 anos da substituição do preparo convencional (PC) pelo PD.

Alguns estudos também têm demonstrado a importância do uso de plantas de cobertura no aumento do COS em solos subtropicais (Bayer et al., 2009; Campos et al., 2011a; Alburquerque et al., 2015; Poeplau & Don, 2015), principalmente leguminosas. Em solos de clima temperado, alguns estudos têm destacado a importância das rotações de culturas, bem como o cultivo de plantas de cobertura na primavera, no incremento de COS (Blanco-Canqui et al., 2013; Van Eerd et al., 2014; Ramnarine et al., 2015), principalmente nas camadas superficiais do solo. Poeplau & Don (2015), utilizando resultados de 37 locais, verificaram que o tempo de inclusão de plantas de cobertura apresentou relação linear com o COS, contribuindo com $0,32 \pm 0,08$ Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ na média de 54 anos, variando com a quantidade de C adicionado, bem como pelas taxas de perdas de COS (Zinn et al., 2005; Campos et al., 2011b; Sharifi et al., 2013), que podem acelerar em ambientes úmidos e quentes.

Adubação nitrogenada tem sido reportada como fundamental para o aumento na produção de biomassa e no COS (Jagadamma et al., 2007; Blanco-Canqui & Schlegel, 2013), porém podem ser limitados em solos subtropicais. Blanco-Canqui & Schlegel (2013) verificaram gradual aumento no COS na camada de 0 a 15 cm de profundidade, o qual foi atribuído à 50 anos de adubação nitrogenada (40 kg N ha⁻¹) em um solo de clima temperado. Em outro estudo, em condição climática semelhante, Blanco-Canqui et al. (2014a) observaram que o efeito da adubação nitrogenada sobre o COS após 27 anos de aplicação de 75 kg N ha⁻¹ foi confinada até 2,5 cm de profundidade. Zanatta

et al. (2007), da mesma forma, verificaram pequeno aumento no COS (5%) nos tratamentos com aplicação de 180 kg N ha⁻¹, quando comparados com os mesmos tratamentos sem fertilização em um solo de clima subtropical, limitado à camada superficial do solo (0 – 2,5 cm).

A utilização de experimentos de longa duração oferece grande oportunidade para o entendimento das alterações na fertilidade do solo ocasionadas pela adoção do manejo do solo em PD, tanto em solos subtropicais, quanto em solos de clima temperado. O conhecimento da dinâmica dos atributos químicos do solo em sistemas de manejo de longa duração pode ser útil para o desenvolvimento de estratégias de manejo de nutrientes, melhorando os sistemas agrícolas em ambientes com condições climáticas distintas (Nora & Amado, 2013; Neugschwandtner et al., 2014). Alguns estudos prévios têm demonstrado efeito da adoção de PD sobre os atributos químicos do solo em curto período de tempo (Rheinheimer et al., 1998; Díaz-Zorita & Grove, 2002; Nora & Amado, 2013; Palm et al., 2014), normalmente confinados nos 10 cm superficiais do solo, mas que podem se estender às camadas sub-superficiais ao longo do tempo.

Claramente, o PD tem aumentado o teor de COS (Derpsch, 1998; Bayer et al., 2000; Blanco-Canqui & Lal, 2008; Pikul et al., 2009; Derpsch et al., 2010), o N total (Barak et al., 1997; Sisti et al., 2004; Aziz et al., 2013), o P disponível (Díaz-Zorita & Grove, 2002; Pikul et al., 2009; Aziz et al., 2013), o K extraível (Burle et al., 1997; Bravo et al., 2007; Karlen et al., 2013b), e reduzido o pH do solo (Barak et al., 1997; Vieira et al., 2008; Vieira et al., 2009a; Bundy et al., 2011; Karlen et al., 2013b). Contudo, maiores informações sobre as alterações da fertilidade do solo sob PD de longa duração em diferentes regiões climáticas são necessárias para a adoção de práticas de manejo adequadas, envolvendo diferentes combinações de rotações de cultura e adubação nitrogenada.

Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito de diferentes sistemas de preparo de solo, sistemas e rotações de cultura e doses de N sobre os atributos químicos de um solo franco argilo-arenoso (Paleudult) de clima subtropical e um solo franco argilo-siltoso (Hapludoll) de clima temperado.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo foram utilizados dois experimentos de manejo do solo de longa duração localizados em Eldorado do Sul, no Sul do Brasil, e em Concord, na região Meio-Oeste dos EUA. As principais características de cada experimento são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização e descrição do experimento na região Sul do Brasil e na região Meio-Oeste dos EUA

Características	Sul do Brasil	Meio-Oeste Americano
Localização	Estação Experimental Agronômica UFRGS, Eldorado do Sul, RS. BRA	Haskell Agricultural Laboratory, Concord, NE, USA
Ano de instalação	1985	1985
Duração até a amostragem	26 anos	28 anos
Coordenadas	30°51'S e 51°38'O	42,38°N e 96,98°O
Clima	Subtropical úmido (Cfa)	Continental temperado úmido (Dfa)
Temperatura média anual	19,4°C*	17,5 °C***
Precipitação média anual	1440 mm*	670 mm***
Classificação do solo	Paleudult	Hapludoll
Granulometria	Franco argiloso arenoso 540 g kg ⁻¹ areia, 240 g kg ⁻¹ silte e 220 g kg ⁻¹ de argila**	Franco argiloso siltoso < 100 g kg ⁻¹ areia, 550 g kg ⁻¹ silte e 350 g kg ⁻¹ argila***
Preparos de solo	Preparo convencional (PC) Plantio direto (PD)	Preparo convencional (PC) Plantio direto (PD)
Sistemas ou rotações de cultura	Aveia/milho (A/M) Ervilhaca/milho (V/M) Aveia+ervilhaca/ Milho+caupi (AV/MC)	Milho contínuo Milho-soja
Adubação nitrogenada	0 kg N ha ⁻¹ 180 kg N ha ⁻¹	0 kg N ha ⁻¹ 80 kg N ha ⁻¹ 160 kg N ha ⁻¹

* Bergamaschi et al. (2003).** Bayer (1992). *** Martellotto (2010).

4.2.1. Descrição do Experimento no Sul do Brasil

Este experimento foi instalado na região da Depressão Central do RS em uma área com relevo suave ondulado, com declive médio de 5 %. O solo é um franco argilo-renoso originado de siltitos e arenitos, o qual apresenta baixa fertilidade natural, elevada acidez e saturação por alumínio. O clima na região é caracterizado por precipitação média anual de 1440 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, e quatro estações bem definidas. A temperatura média anual é de 19,4 °C, com médias diárias que variam de 10 a 33 °C (Figura 1). A vegetação nativa na área do experimento é composta predominantemente por gramíneas (*Paspalum* e *Andropogon*), sendo que, em 1969 houve a conversão da área para o uso agrícola, com o cultivo de nabo (*Brassica napus* L.) no inverno e girassol (*Helianthus annuus* L.) no verão, ocasionalmente soja (*Glycine max* L.) em preparo convencional do solo.

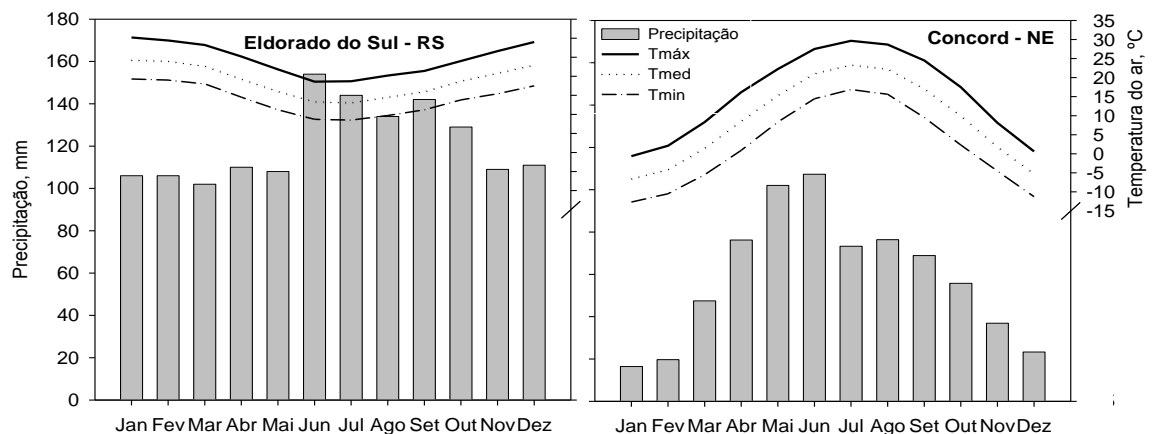


Figura 1. Série climática da Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Eldorado do Sul, RS – BRA (1970 a 2012) (Bergamaschi & Melo, 2013) e da Estação Meteorológica do Laboratório Agrícola Haskell, Concord, NE – USA, do Centro Climático Nacional (1981 a 2010).

O experimento foi instalado com delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições. Nas parcelas principais (15 m x 20 m) foram alocados os sistemas de preparo de solo: PC, preparo reduzido (PR) e PD, e, nas subparcelas (5 m x 20 m) foram distribuídos três sistemas de cultura: A/M, V/M e AV/MC, sendo duas doses de N (0 e 180 kg N ha⁻¹)

aplicada em faixas nos blocos (45 x 10 m) (Bayer, 1992; Zanatta et al., 2007). Nesse estudo foram selecionados apenas os sistemas PC e PD.

Os tratamentos conduzidos sob PC foram arados anualmente até 20 cm de profundidade, aproximadamente, em Setembro/Outubro (primavera no Hemisfério Sul), seguidos por duas gradagens até 10 cm de profundidade utilizando grade niveladora. O sistema de PD consistiu de controle químico de plantas espontâneas, com revolvimento do solo apenas no sulco de semeadura. A semeadura do milho foi realizada após os preparos do solo de 60.000 sementes ha⁻¹, aproximadamente, utilizando espaçamento de 0,90 m entrelinhas, com a adubação de base no sulco de semeadura, sendo aplicados 20 kg N, 80 kg P₂O₅ e 80 kg K₂O ha⁻¹, com semeadora-adubadora (Vence Tudo, modelo AS11500). Na adubação nitrogenada de cobertura foi aplicada ureia superficial na cultura do milho, em estágio V₇, sendo que, de 1985 a 1994, foi aplicado 120 kg N ha⁻¹, e, a partir de 1994, a dose foi aumentada para 180 kg N ha⁻¹.

As plantas de cobertura de inverno foram semeadas anualmente após a colheita do milho, em Abril/Maio (outono no Hemisfério Sul), na taxa de 100 kg ha⁻¹ de semente, quando semeadas individualmente, e 40 kg ha⁻¹ de aveia e 60 kg ha⁻¹ de ervilhaca quando consorciadas. Contudo, o caupi foi semeado manualmente entre as linhas de milho, 20 a 30 dias após a semeadura, na taxa de 3-4 sementes por cova, com espaçamento de 0,40 m entre covas.

4.2.2. Descrição do Experimento na região Meio-Oeste dos EUA

O experimento está situado na região das Grandes Planícies Norte Americanas, em um solo franco argilo-siltoso, formado a partir de sedimentos aluviais, no qual o declive varia de 0 a 2 %. O solo é pobremente drenado, com predomínio da fração silte (USDA-NRCS, 2006). O clima da região é caracterizado por precipitação média anual, 670 mm, com chuvas concentradas em nos meses de Junho/Julho (primavera no Hemisfério Norte), e temperatura média anual de 17,5 °C, com médias diárias que variam de -10 °C no inverno a 30 °C no verão (Figura 1).

Anterior à instalação do experimento, a área era cultivada com milho desde o início da década de 70, com revolvimento do solo realizado com grade de discos. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições. Nas parcelas principais (30,5 m x 61,0 m) foram alocados os sistemas de preparo de solo: PC, PR e PD; nas subparcelas (10,7 m x 30,5 m) foram estabelecidas duas rotações de cultura: milho contínuo e milho-soja (uma cultura por ano, todos os anos) e, nas sub-subparcelas (61 m x 10,7 m) foram estabelecidas cinco doses de N: 0, 40, 80, 120 e 160 kg N ha⁻¹ (Martelotto, 2010; Blanco-Canqui et al., 2014a).

No início, as parcelas cultivadas em PC foram aradas até 20 cm de profundidade, aproximadamente, em Março/Abril (primavera no Hemisfério Norte) até 2003. A partir 2003, a aração passou a ser realizada em Outubro/Novembro (outono) e, antes da semeadura é realizada uma gradagem, com revolvimento do solo até 10 cm de profundidade, aplicada adubação de base e realizada mais uma gradagem. O sistema de PD consiste do controle químico de plantas espontâneas, e posterior semeadura do milho e da soja com revolvimento do solo apenas no sulco de semeadura.

A semeadura do milho foi realizada na taxa de 63.500 sementes ha⁻¹, enquanto que, a cultura da soja foi semeada, em média, na taxa de 398.000 sementes ha⁻¹ nos últimos 5 anos. A adubação nitrogenada foi aplicada superficialmente na cultura do milho na forma de nitrato de amônio, normalmente antes do preparo de solo na primavera. Na adubação de base foi aplicado somente fertilizante fosfatado, com base na recomendação da Universidade de Nebraska (Shapiro et al., 2008).

4.2.3. Coleta e Análise de Solo

As coletas de solo foram realizadas anteriormente à semeadura da cultura do milho, utilizando trados caladores, com 1,5 cm de diâmetro. Em cada parcela foram coletadas aleatoriamente seis subamostras de solo até 20 cm de profundidade. Posteriormente, cada subamostra foi separada em duas camadas, de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm, com as quais foi formada uma amostra composta para cada camada. As amostras foram secas ao ar, moídas, passadas em peneira de 2 mm e armazenadas em sacos plásticos.

As análises de COS e NT foram realizadas com analisador de CN, por combustão seca (Nelson & Sommers, 1996), utilizando uma fração da terra fina seca ao ar, a qual foi moída e passada em peneira de 0,25 mm. O pH do solo foi determinado em água, na proporção 1:1 (solo:água). No solo subtropical, a extração de P disponível e K extraível foi realizada via solução Melich-1 (Tedesco et al., 1995), enquanto que, no solo temperado foi utilizada solução Melich-3 (Ward, 2014). Todavia, a concentração nos extratos foi determinada por colorimetria em ambos os solos. Apesar da maior capacidade de extração da solução Melich-3, comparada à Melich-1 (Bortolon & Gianello, 2008) optou-se por manter o extrator de acordo com a recomendação de cada região. Os teores de cálcio e magnésio foram determinados para a estimativa da saturação de bases, a qual foi estimada pelo método descrito em Tedesco et al. (1995) e Ward (2014).

4.2.4. Adição Anual de Carbono

A estimativa da adição anual de C pelo milho em Eldorado do Sul foi realizada com base no rendimento de grãos, conforme equação proposta por Lovato et al. (2004), na qual o rendimento de resíduos é:

$$MS \text{ (Mg ha}^{-1}\text{)} = 0,96 \times \text{Rend} + 2,91 \text{ (} r^2 = 0,91, p < 0,05\text{)}.$$

na qual, MS é o rendimento de matéria seca de resíduos e Rend é o rendimento de grãos de milho (Mg ha⁻¹). O rendimento de resíduos de aveia, ervilhaca e caupi foram estimados com base nas médias apresentadas por Zanatta et al. (2007). O rendimento total de resíduo em cada tratamento foi dado pela soma de resíduos de parte aérea de plantas de milho, de plantas de cobertura, e contribuição de raízes, para qual foi considerado o valor de 30 % da parte aérea (Bayer et al., 2000). No experimento em Corcord, a produção de resíduos pela cultura do milho foi determinada pela colheita de cinco plantas, aleatoriamente, quando essas atingiram a maturidade de grãos, as quais foram secas, pesadas, e estimada a produção de resíduos da parte aérea por hectare, considerando um adicional de 30 % como contribuição de raízes. A estimativa da produção de resíduos da parte aérea da cultura da soja foi

baseada no rendimento de grãos, utilizando índice de colheita de 0,43 e, como contribuição de raízes, foi aplicado o índice de 0,14 (Martellotto, 2010).

A partir da produção total de resíduos nos tratamentos em ambos experimentos, foi assumido o valor de 40 % de C na matéria seca (Bayer et al., 2000), de modo a estimar o aporte de C em cada tratamento (Tabela 2).

Tabela 2. Adição anual de C ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) no experimento na região Sul do Brasil e na região Meio-Oeste dos EUA pelos sistemas de cultura cultivados em diferentes doses de N em PC e PD

Preparos de solo	Doses de N kg ha^{-1}	Sistemas de cultura		
		----- Eldorado do Sul, BRA * -----		
		A/M	V/M	AV/MC
Preparo convencional	0	2,6	4,5	4,8
	180	5,3	6,2	6,4
Plantio direto	0	2,6	4,4	5,1
	180	5,5	5,9	6,5
		----- Concord, EUA ** -----		
		Milho	Milho-soja***	
Preparo convencional	0	2,4	2,4	
	80	3,0	2,7	
	160	3,1	2,7	
Plantio direto	0	2,6	2,4	
	80	3,2	2,6	
	160	3,4	2,6	

*Adaptado de Zanatta (2006). ** Adaptado de Martellotto (2010). ***Soma de resíduo de milho e soja. A: aveia; M:milho; V: ervilhaca; C: caupi.

4.2.5. Análise Estatística

Quando o modelo de normalidade de distribuição dos dados não foi verificado, os dados foram transformados, sendo então submetidos à análise de variância, utilizando Proc Mixed (SAS, 2014), considerando sistemas de preparo, sistemas/rotações de cultura, adubação nitrogenada e camada de solo como efeito fixo e blocos como efeito aleatório. O modelo estatístico assumido foi o seguinte:

$$Y_{(ijklm)} = \mu + b_i + A_j + \text{Erro } a(ij) + B_k + A_j B_k + \text{Erro } b(ijk) + C_l + A_j C_l + B_k C_l + A_j B_k C_l + \text{Erro } c(ijkl) + D_m + A_j D_m + B_k D_m + C_l D_m + A_j B_k D_m + A_j C_l D_m + B_k C_l D_m + A_j B_k C_l D_m + \text{Erro } d(ijklm)$$

no qual, no experimento no Sul do Brasil, b é bloco ($i= 1, 2, 3$); A é sistema de preparo ($j= 1, 2$); B é sistema de cultura ($k= 1, 2, 3$); C é dose de N ($l= 1, 2$) e D é camada de solo ($m= 1, 2$). No experimento na região Meio-Oeste dos EUA, b é bloco ($i= 1, 2, 3, 4$); A é sistema de preparo ($j= 1, 2$); B é rotação de cultura ($k= 1, 2$); C é dose de N ($l= 1, 2, 3$) e D é camada de solo ($m= 1, 2$). As médias dos tratamentos foram estimadas utilizando *LSMeans*, e as diferenças comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1. Carbono Orgânico do Solo e Nitrogênio Total

Os teores de COS e NT foram influenciados significativamente pelos preparos de solo e sistemas de culturas, porém, a adubação nitrogenada não apresentou efeito significativo no experimento no Sul do Brasil. Entretanto, no experimento na região Meio-Oeste dos EUA, os teores de COS e NT foram influenciados pelos preparos de solo e adubação nitrogenada, porém a rotação de cultura não apresentou efeito significativo (Tabela 3). Em ambos os experimentos, o efeito das práticas de manejo sobre o COS e NT foram restritos à camada de 0 a 10 cm de profundidade. No experimento em Eldorado do Sul, a adoção de PD aumentou em 25 % a concentração de COS e 30 % a concentração de NT, na camada de 0 a 10 cm de profundidade (Tabela 4), comparado ao sistema PC após 26 anos de cultivo. No experimento situado em Concord, foi verificado aumento de 22 e 30 % nos teores de COS e NT, respectivamente, após 28 anos de cultivo, concentrados até 10 cm de profundidade (Tabela 5).

O aumento superficial dos teores de COS e NT em PD estão relacionados, principalmente, à manutenção de resíduos vegetais sobre a superfície do solo e à baixa intensidade de revolvimento. Os resultados obtidos nesse estudo foram coerentes com alguns estudos realizados em experimentos de longa duração em solos tropicais (Ogle et al., 2005; Ferreira et al., 2013; Scopel et al., 2013; Souza et al., 2014) e solos temperados (Ogle et al., 2005; Duiker & Beegle, 2006; Pikul et al., 2009; Karlen et al., 2013a; Blanco-Canqui et al., 2014a; Dimassi et al., 2014), sugerindo que a adoção de PD apresenta

potencial para aumentar os teores de COS e NT em diferentes climas, apesar das diferentes características entre solos de climas subtropicais e temperados.

Tabela 3. Efeito das práticas de manejo do solo de longa duração sobre os atributos químicos do solo no experimento em Eldorado do Sul e em Concord

Variável	GL	COS	NT	pH	P	K	V
----- Solo Subtropical -----							
<i>Preparos de solo (A)</i>	1	ns	ns	ns	*	ns	ns
<i>Sistemas de cultura (B)</i>	2	*	*	ns	*	ns	*
<i>A*B</i>	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Doses de N (C)</i>	1	ns	ns	*	*	*	*
<i>A*C</i>	1	ns	ns	*	*	*	ns
<i>B*C</i>	2	ns	ns	ns	ns	*	ns
<i>A*B*C</i>	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Camadas (D)</i>	1	*	*	ns	*	*	*
<i>A*D</i>	1	*	*	ns	ns	ns	ns
<i>B*D</i>	2	*	ns	ns	ns	ns	*
<i>C*D</i>	1	ns	ns	ns	ns	*	*
<i>A*B*D</i>	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>A*C*D</i>	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>B*C*D</i>	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns
----- Solo Temperado -----							
<i>A</i>	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>B</i>	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>A*B</i>	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>C</i>	2	ns	ns	*	ns	ns	*
<i>A*C</i>	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>B*C</i>	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>A*B*C</i>	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>D</i>	1	*	*	*	*	*	*
<i>A*D</i>	2	*	*	*	*	*	*
<i>B*D</i>	1	ns	ns	*	*	ns	ns
<i>C*D</i>	2	ns	*	*	*	ns	*
<i>A*B*D</i>	1	ns	ns	ns	*	ns	*
<i>A*C*D</i>	2	ns	ns	*	ns	*	*
<i>B*C*D</i>	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns

GL: grau de liberdade; COS: C orgânico do solo; NT: N total; P: P disponível; K: K extraível; V: saturação por bases. * $P < 0.05$. ns: não significativo.

Alguns estudos têm mostrado que os teores de COS e de NT estão diretamente relacionados ao alto aporte de resíduos (Burle et al., 1997; Zinn et al., 2005; Campos et al., 2011a), decorrente do cultivo intensivo ao longo do ano. Nesse sentido, o aumento do COS e do NT da camada superficial do solo subtropical são dependentes do aporte de C pelos sistemas de cultura. O consórcio de plantas de coberturas, com gramíneas e leguminosas ao longo do ano, aporta maior quantidade de C e N no solo, como foi verificado no sistema

AV/MC (Tabela 2). Entretanto, a produção de resíduos no clima temperado limitou-se à cultura do milho e da soja, que, de certa forma, foram similares e concentradas no período de verão, resultando em baixo efeito sobre o COS e o NT. Contudo, ressalta-se a diferença nos teores de COS e NT entre os solos, enquanto o solo de clima subtropical apresentou média de 11 e 1,0 g kg⁻¹, no solo de clima temperado foi verificada média de 23 e 2,0 g kg⁻¹ de COS e NT, respectivamente. Essas concentrações estão diretamente relacionadas com a capacidade do solo em armazenar C e N (Six et al., 2002; Bayer et al., 2006a), que são dependentes das entradas e saídas de C e N (West & Six, 2007), que ao mesmo tempo dependem da distribuição de temperatura anual e precipitação.

Tabela 4. Efeito de sistemas de preparo de solo, sistemas de cultura e adubação nitrogenada sobre os atributos químicos de um solo franco argilo-arenoso (Paleudult) cultivado por 26 anos na região Sul do Brasil

Camada	COS	NT	pH	P	K	V
cm	----- g kg ⁻¹ -----		1:1	----- mg kg ⁻¹ -----		%
0 – 10						
PC	10,8	1,0	4,7	11,8	99	36,9
PD	13,4	1,3	4,8	24,9	102	41,5
DMS	2,0	0,2	ns	9,1	ns	ns
10 – 20						
PC	10,0	0,9	4,7	8,7	61	35,7
PD	8,5	0,8	4,8	14,9	64	38,8
DMS	ns	ns	ns	5,9	ns	ns
0 -10						
A/M	11,1	1,0	4,8	24,6	106	46,9
V/M	11,7	1,1	4,6	16,6	90	32,8
AV/MC	13,7	1,3	4,8	14,5	106	38,0
DMS	1,3	0,1	ns	5,8	14	6,0
10 – 20						
A/M	9,2	0,8	4,8	15,7	69	46,4
V/M	9,5	0,9	4,6	10,7	60	33,0
AV/MC	9,5	0,9	4,6	9,0	60	32,4
DMS	ns	ns	ns	5,9	ns	6,5
0 -10						
0 N	11,9	1,1	4,9	22,8	119	45,6
180 N	12,3	1,1	4,6	14,0	83	32,8
DMS	ns	ns	0,2	4,5	11	3,8
10 – 20						
0 N	9,3	0,8	4,8	15,0	71	38,6
180 N	9,5	0,8	4,5	8,7	54	34,9
DMS	ns	ns	0,2	4,5	14	4,6

COS: C orgânico do solo; NT: N total; P: P disponível; K: K extraível; V: saturação por bases. PC: preparo convencional; PD: plantio direto; A/M: aveia/milho; V/M: ervilhaca/milho; AV/MC: aveia+ervilhaca/milho+caupi; DMS: diferença mínima significativa. NS: não significativo.

Tabela 5. Efeito de sistemas de preparo de solo, rotações de cultura e doses de N sobre os atributos químicos de um solo franco argilo-siltoso (Hapludoll) cultivados por 28 anos na região Meio-Oeste dos EUA

Camada	COS	NT	pH	P	K	V
cm	----- g kg ⁻¹ -----		1:1	----- mg kg ⁻¹ -----		%
0 - 10						
<i>PC</i>	21,4	2,0	5,9	43,4	383	84,3
<i>PD</i>	26,2	2,6	5,3	87,9	340	74,6
<i>DMS</i>	3,5	0,4	ns	26,8	ns	ns
10 - 20						
<i>PC</i>	21,7	2,1	5,8	44,4	387	83,1
<i>PD</i>	22,0	2,2	5,7	13,4	226	84,3
<i>DMS</i>	ns	ns	ns	30,5	128	ns
0 - 10						
<i>Milho</i>	23,5	2,2	5,4	71,5	372	76,2
<i>Milho-soja</i>	24,1	2,3	5,8	60,8	352	82,6
<i>DMS</i>	ns	ns	0,2	ns	ns	5,9
10 - 20						
<i>Milho</i>	21,5	2,1	5,7	27,3	319	82,5
<i>Milho-soja</i>	22,2	2,2	5,9	30,5	294	84,9
<i>DMS</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns
0 - 10						
<i>0 N</i>	23,6	2,3	6,1	61,5	375	88,6
<i>80 N</i>	24,1	2,3	5,5	63,5	340	78,9
<i>160 N</i>	24,7	2,4	5,2	73,4	363	70,7
<i>DMS</i>	0,7	ns	0,2	10,3	ns	5,7
10 - 20						
<i>0 N</i>	21,8	2,1	6,1	31,9	309	86,1
<i>80 N</i>	21,9	2,1	5,7	24,6	306	84,4
<i>160 N</i>	21,7	2,2	5,5	30,3	305	80,5
<i>DMS</i>	ns	ns	0,2	ns	ns	4,1

COS: C orgânico do solo; NT: N total; P: P disponível; K: K extraível; V: saturação por bases. PC: preparo convencional; PD: plantio direto; DMS: diferença mínima significativa. NS: não significativo.

A adubação nitrogenada tem sido relacionada ao aumento da produção de biomassa vegetal e, conseqüentemente, aumentando a concentração de COS e NT (Jagadamma et al., 2007; Blanco-Canqui & Schlegel, 2013). No entanto, nesse estudo não foi verificado efeito significativo da adubação nitrogenada sobre os teores de COS e de NT no solo subtropical, porém no solo de clima temperado foi verificado aumento significativo do COS nos tratamentos com a aplicação de 160 kg N ha⁻¹. No experimento na região Sul do Brasil foi verificado um acréscimo de 3 % no teor de COS devido à adubação nitrogenada, comparado aos tratamentos sem adubação nitrogenada (Tabela 4). Esses resultados foram similares aos encontrados por Zanatta et al.

(2007), os quais verificaram incremento de 5 % de COS, porém confinado nos 2,5 cm superficiais, decorridos 18 anos de aplicação 180 kg N ha⁻¹ na forma de ureia. Entretanto, no solo temperado, foi verificado que a aplicação de 160 kg de N ha⁻¹, na forma de nitrato de amônio, aumentou em 5 % o teor de COS, comparado aos tratamentos sem adubação nitrogenada. Esse resultado foi similar ao verificado por Blanco-Canqui & Schlegel (2013), no qual, a adubação nitrogenada aumentou em 5 % o teor de COS até 15 cm ao longo de 50 anos de aplicação de 75 kg N ha⁻¹. Todavia, em outro estudo, Blanco-Canqui et al. (2014a) verificaram incremento no COS, atribuído a 27 anos de fertilização nitrogenada, restrito até 2,5 cm de profundidade.

O efeito pouco expressivo da adubação nitrogenada sobre os teores de COS e NT deve-se principalmente ao aumento da taxa de mineralização no solo, a qual contrabalança as taxas de entrada de C e N (Cardoso et al., 2011), que ocorrem pelo aumento da disponibilidade de N à microbiota do solo, acelerando a mineralização do C e N orgânico do solo. Assim, maiores incrementos de COS e NT somente são possíveis próximo à superfície do solo, com elevada quantidade de resíduos, como observado por Zanatta et al. (2007) e Blanco-Canqui et al. (2014a), principalmente em sistemas em PD.

4.3.2. pH do Solo e Fósforo Disponível

O pH do solo foi influenciado, principalmente, pela adubação nitrogenada, independentemente do tipo de solo (Tabela 3). No solo subtropical, a adubação nitrogenada reduziu significativamente o pH nas duas camadas avaliadas, reduzindo o pH de 4,9 para 4,6 na camada de 0 a 10 cm de profundidade e de 4,8 para 4,5 na camada de 10 a 20 cm de profundidade (Tabela 4). Por sua vez, no solo de clima temperado, a aplicação de 160 kg de N ha⁻¹ reduziu o pH de 6,1 para 5,2 na camada superficial do solo, enquanto na camada de 10 a 20 cm, o pH reduziu de 6,1 nos tratamentos com 0 kg de N ha⁻¹, para 5,5 nos tratamentos com 160 kg de N ha⁻¹, respectivamente (Tabela 5). Em ambas as camadas avaliadas, os valores de pH do solo observados na dose de 80 kg de N ha⁻¹ foram intermediários às demais doses.

A acidificação do solo pela adubação nitrogenada pode decorrer da maior remoção de cátions básicos via grãos (Vieira et al., 2008; Martins et al.,

2014), visto maior rendimento de grãos, bem como pela lixiviação de nitrato (Vieira et al., 2008). Quando o ciclo do C e do N é fechado, sem lixiviação de nitrato e os cátions básicos absorvidos no tecido vegetal retornam ao solo, a acidez gerada pela aplicação de fertilizantes nitrogenados torna-se momentânea, sendo neutralizada pela liberação de ânions orgânicos do tecido vegetal (Bolan et al., 1991). No entanto, quando os ciclos são interrompidos pela lixiviação de nitrato e remoção de bases, a acidez torna-se permanente, que pode ser intensificada com o incremento nas doses de N aplicadas.

Neste estudo não foi verificado efeito significativo dos preparos sobre o pH, tanto no solo subtropical, quanto no solo temperado (Tabela 3), provavelmente devido à similaridade no rendimento de grãos entre os diferentes tratamentos conduzidos em PC e PD, verificados pelo aporte de C (Tabela 1). No solo subtropical, o pH do solo, na média dos preparos, foi de 4,7 em todo o perfil analisado (Tabela 4), enquanto que, no solo temperado, apesar da diferença não ser significativa, o pH do solo nos tratamentos em PD foi 0,6 unidades mais ácido na camada superficial, comparado ao PC (Tabela 5).

Segundo Vieira et al. (2008), a magnitude da redução do pH do solo é dependente do potencial de acidificação de cada sistema de cultura, sendo que, sistemas com leguminosas, como AV/M, apresentam potencial de acidificação de $2,65 \text{ kmol H}^+ \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que sistemas como A/M apresentam potencial de acidificação de $1,07 \text{ kmol H}^+ \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Apesar disso, no solo subtropical não foi verificado efeito significativo dos sistemas de cultura sobre o pH do solo. Porém, no solo temperado foi verificada redução significativa no pH na camada de 0 a 10 cm quando cultivado somente milho. A redução no pH do solo temperado, de 5,8 para 5,4, pode ser resultante da maior exportação de nutrientes via grão, visto o maior rendimento de milho, comparado à soja, bem como resultante da aplicação de N, pois na rotação milho-soja foi realizada adubação nitrogenada apenas na cultura do milho. Contudo, no solo subtropical, o efeito acidificante de leguminosas pode estar concentrado nos centímetros superficiais do solo ($<2,5 \text{ cm}$), como verificado por Zanatta, et al. (2007), o qual não foi evidente na camada de 10 cm.

Diferente do observado no pH do solo, a concentração de P disponível foi altamente influenciada pelas práticas de manejo do solo (Tabela 3). No solo subtropical, a concentração de P disponível em PD na camada de 0

a 10 cm foi 24,9 mg kg⁻¹, 10 mg kg⁻¹ superior à camada de 10 a 20 cm, ambas significativamente superiores às concentrações verificadas em PC, as quais foram 50 % menores, aproximadamente (Tabela 4). Por sua vez, a concentração de P disponível no solo de clima temperado aumentou significativamente em PD na camada superficial, aproximadamente, duas vezes superior ao observado em PC, na camada de 0 a 10 cm de profundidade, o qual foi próximo de 40 mg kg⁻¹. Contrariamente, na camada de 10 a 20 cm, o teor de P disponível nos tratamentos cultivados em PC foi três vezes superior ao PD, o qual apresentou concentração em torno de 13 mg kg⁻¹ (Tabela 5). Esse aumento na camada mais profunda em PC foi resultante, provavelmente, da incorporação de resíduos e fertilizantes fosfatados, enquanto que em PD permanecem na superfície do solo.

Além dos preparos de solo, os sistemas de cultura influenciaram significativamente a concentração de P no solo subtropical (Tabela 3), no qual a concentração de P disponível reduziu com a adição de leguminosas. A concentração de P no solo subtropical variou de 14,5 a 24,6 mg kg⁻¹, na camada de 0 a 10 cm, enquanto que, na camada de 10 a 20 cm, o teor de P variou de 9,0 a 16,0 mg kg⁻¹, sendo observadas concentrações crescentes na ordem AV/MC<V/M<A/M (Tabela 4). Entretanto, no solo temperado, o teor de P disponível não diferiu estatisticamente entre as rotações de culturas, perfazendo uma média de 66,0 mg kg⁻¹ na camada de 0 a 10 cm e 29,0 mg kg⁻¹ na camada de 10 a 20 cm de profundidade (Tabela 5).

A adubação nitrogenada também apresentou efeito significativo sobre o teor de P disponível nos dois solos avaliados (Tabela 3). No solo subtropical, a adubação nitrogenada reduziu em 40 % o teor de P disponível, comparado com os tratamentos sem fertilização nitrogenada, os quais apresentaram, em média, 23 e 15 mg kg⁻¹ na camada de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm de profundidade, respectivamente (Tabela 4). Ao contrário do observado no solo subtropical, no solo de clima temperado, a adubação nitrogenada aumentou significativamente a concentração de P disponível até 10 cm de profundidade, porém, apenas na dose de 160 kg N ha⁻¹, na qual foi verificado teor de 73 mg kg⁻¹ de P disponível, representando um acréscimo de 20 % em relação aos tratamentos sem N (Tabela 5).

O aumento do teor de P disponível próximo à superfície do solo ocorre pela manutenção de resíduos e fertilizantes na superfície do solo, principalmente em sistemas cultivados em PD, variando de acordo com potencial de reciclagem de cada cultura, bem como taxa de liberação de P do tecido vegetal (Giacomini et al., 2003b; Tiecher et al., 2012a). Alguns estudos têm demonstrado que a aveia é mais eficiente na ciclagem de P, comparada à ervilhaca (Giacomini et al., 2003b; Tiecher et al., 2012b), contudo, a ervilhaca apresenta maior taxa de decomposição e liberação de P (Giacomini et al., 2003a), resultante da maior proporção de raízes finas, que se decompõe mais rapidamente (Jani et al., 2015). Além de P, a ervilhaca também disponibiliza grande quantidade de N, aumentando o rendimento de grãos e a exportação de P, contribuindo para a redução da concentração no solo. Por sua vez, a disponibilidade de P em solos subtropicais é altamente dependente do pH (Fink et al., 2014), reduzindo em pH ácido, decorrente da adsorção de fosfatos por óxidos de ferro e alumínio. Desse modo, redução do P disponível no solo em tratamentos com leguminosas decorre da conjugação da rápida e menor liberação de P, da maior exportação via grãos e pela maior adsorção, devido ao aumento da acidez do solo nesses tratamentos, comparados aos sistemas de culturas compostos apenas por gramíneas.

Em solos temperados, o teor de P disponível no solo depende da eficiência dos sistemas de cultura (Frossard et al., 2000). De acordo com os resultados obtidos nesse estudo, a inclusão de soja na rotação de culturas não influenciou no teor de P disponível, comparado ao solo cultivado com milho contínuo. A maior concentração de P disponível, na camada de 0 a 10 cm de profundidade, nos tratamentos com aplicação de 160 kg N ha⁻¹ pode ocorrer pela maior reciclagem de P pelo, na qual é depositado maior quantidade de resíduos na superfície do solo; e pela manutenção do pH do solo na faixa de 5,0 a 7,0, na qual adsorção de fosfatos por óxidos é reduzida, bem como por cálcio (Haynes, 1982).

4.3.3. Potássio Extraível e Saturação por Bases

O cultivo contínuo do solo não acarretou grandes alterações nos teores de K disponível no solo, sendo que, no experimento no Sul do Brasil, a principal prática de manejo que influenciou significativamente a concentração de K^+ foi a adubação nitrogenada, enquanto que, no experimento no Meio-Oeste dos EUA, foram os sistemas de preparo (Tabela 3). A substituição do PC pelo PD não aumentou significativamente o teor de K^+ no perfil do solo de clima subtropical, porém, aumentou sua concentração na camada de 0 a 10 cm de profundidade, a qual apresentou teor médio de K disponível de 100 mg kg^{-1} , enquanto que, na camada de 10 a 20 cm a concentração foi de 60 mg kg^{-1} (Tabela 4). No solo de clima temperado, a maior diferença na concentração de K disponível entre os sistemas de preparo de solo foi verificada na camada de 10 a 20 cm de profundidade. Nessa camada, o teor de K^+ no solo cultivado em PD foi 40 % menor, comparado ao sistema PC, enquanto que na camada de 0 a 10 cm a diferença foi de apenas 11 % (Tabela 5).

Os sistemas de cultura influenciaram significativamente o teor de K disponível no solo de clima subtropical apenas na camada de 0 a 10 cm de profundidade (Tabela 3), na qual, o teor de K^+ no solo cultivado com os sistemas A/M e AV/MC foi 20 % superior ao sistema V/M, que apresentou concentração de, aproximadamente, 90 mg kg^{-1} . No experimento no Meio-Oeste dos EUA não foi verificada diferença significativa entre as médias de K disponível nos tratamentos cultivados com a rotação milho-soja e milho contínuo, sendo que, a média de K^+ das rotações foi de, aproximadamente, 360 mg kg^{-1} na camada de 0 a 10 cm de profundidade (Tabela 5).

A adubação nitrogenada foi responsável pela maior redução do teor de K disponível no experimento no Sul do Brasil. Na camada de 0 a 10 cm, a aplicação de $180 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ reduziu em 30 % o teor de K^+ , enquanto que, na camada de 10 a 20 cm a redução foi de 23 %, aproximadamente, comparado aos tratamentos sem adubação nitrogenada (Tabela 4). Ao contrário do observado no solo subtropical, no experimento no Meio-Oeste dos EUA, a adubação nitrogenada não influenciou o teor de K disponível, sendo verificados valores médios de 360 mg kg^{-1} de K^+ na camada de 0 a 10 cm e 310 mg kg^{-1} na camada de 10 a 20 cm de profundidade (Tabela 5).

A elevada concentração de K^+ em solo de clima temperado, aproximadamente 4,5 vezes superior ao solo de clima subtropical, cria um ambiente em que as práticas de manejo apresentam menor influência sobre seu teor. Devido ao alto grau de intemperização dos solos de climas tropicais e subtropicais, as práticas de manejo que reciclam maiores quantidade de nutrientes apresentam maior efeito sobre as concentrações de K^+ no solo. Desse modo, maior aporte de resíduos, retorna maior quantidade de K^+ ao solo (Giacomini et al., 2003b), aumentando sua concentração. Esse efeito também pode ser verificado no solo de clima temperado, no qual houve maior produção de resíduo no cultivo de milho contínuo. Segundo Giacomini et al. (2003a), a predominância de gramíneas reduz a taxa de liberação de K^+ , tanto para o sistema A/M como para o cultivo contínuo de milho. Por outro lado, a maior taxa de decomposição e liberação do K^+ dos resíduos de ervilhaca e soja, o K^+ pode ser perdido por lixiviação, principalmente em condições em que o pH do solo é baixo (Haynes & Goh, 1980), diminuindo sua disponibilidade.

O efeito das práticas de manejo sobre a saturação por bases ao longo do tempo foi acentuado principalmente pelos sistemas de cultura e adubação nitrogenada (Tabela 3). O sistema de PC, no experimento no Sul do Brasil, apresentou saturação por bases média de 40 %, a qual não diferiu estatisticamente da verificada em PD (Tabela 4). Por sua vez, no experimento no Meio-Oeste dos EUA, a saturação por bases verificada na média dos preparos de solo foi de, aproximadamente, 80 % (Tabela 5). No solo subtropical, a saturação por bases no solo cultivado com A/M foi de 46 %, significativamente superior à média dos sistemas V/M e AV/MC. No solo de clima temperado as rotações de culturas apresentaram comportamento diferente. A inserção de soja na rotação aumentou a saturação por bases para 83%, enquanto que, na monocultura de milho o valor foi de 76 % (Tabela 5). Em ambos os solos a adubação nitrogenada apresentou comportamento semelhante, reduzindo a saturação por bases nas duas camadas. Porém, no solo subtropical a saturação por bases variou de 33 a 46 % (Tabela 4), enquanto que, no solo de clima temperado variou de 71 a 89 % (Tabela 5).

A diferença de concentração de nutrientes existente entre os solos de clima subtropical e temperado determinou a diferente performance das práticas de manejo de solo avaliadas. A saturação por bases no solo

subtropical aumentou na camada de 0 a 10 cm nos tratamentos em PD, enquanto que, no solo de clima temperado, a saturação por bases foi reduzida nesta camada. O aumento da saturação por bases se deve principalmente ao acúmulo de material orgânico na superfície do solo, adsorvendo maior quantidade de cátions básicos, haja vista a relação direta com a capacidade de troca de cátions (CTC), a qual aumenta a taxas de $1,82 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para cada incremento de $1,0 \text{ g kg}^{-1}$ de COS (Bayer & Mielniczuk, 1997). Todavia, em solos de clima temperado, a CTC do solo é dependente da mineralogia do solo (Thompson et al., 1989), não dependendo do conteúdo de COS. Outro fator determinante na variação da saturação por bases é remoção de cátions básicos via grãos (Burle et al., 1997), explicando a menor saturação observada nos sistemas de V/M e AV/MC no solo subtropical, e na cultivo contínuo de milho no solo temperado. O aumento de rendimento de grãos devido à adubação nitrogenada é outro fator que pode ter proporcionado redução na saturação por bases em ambos os solos.

4.4. CONCLUSÕES

1. A adoção de PD aumenta os teores de COS, NT e P até 10 cm de profundidade, independentemente do tipo de solo, do sistema de cultura e da adubação nitrogenada.
2. A inclusão de plantas leguminosas nos sistemas de cultura aumenta os teores de C e N no solo, porém reduz pH, P disponível e a saturação por bases no solo de clima subtropical. Entretanto, a introdução da soja na rotação de culturas não aumenta o COS, NT, P e K disponíveis e a saturação por bases, porém aumenta o pH do solo em relação ao cultivo contínuo de milho no solo de clima temperado.
3. A adubação nitrogenada não influencia os teores de COS e NT no solo subtropical, mas no solo de clima temperado incrementa pequena quantidade de COS. Independentemente do tipo de solo, a adubação nitrogenada reduz o pH, K disponível e a saturação por bases, porém, no solo de clima subtropical reduz o P disponível, mas aumenta em solo de clima temperado.

5. ESTUDO II – MATÉRIA ORGÂNICA E INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO AFETADOS POR SISTEMAS DE MANEJO DE LONGA DURAÇÃO EM DIFERENTES SISTEMAS AGRÍCOLAS

RESUMO – O C orgânico do solo (COS) é fundamental para a melhoria da qualidade dos solos, desempenhando importante função nos agroecossistemas. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito de práticas de manejo do solo de longa duração sobre os estoques de C e frações da matéria orgânica (MO) em um solo franco argilo-arenoso (Paleudult) na região Sul do Brasil e um solo franco argilo-siltoso (Hapludoll) na região Meio-Oeste dos EUA, cultivados com diferentes sistemas de cultura e doses de nitrogênio (N) em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD). O experimento no Sul do Brasil foi instalado em 1985, o qual foi composto por dois sistemas de preparo do solo: PC e PD; três sistemas de cultivo: aveia (*Avena strigosa*)/milho (*Zea mays*) (A/M), ervilhaca (*Vicia sativa*)/milho (V/M) e aveia+ervilhaca/milho+caupi (*Vigna unguiculata*) (AV/MC); e duas doses de N (0 e 180 kg N ha⁻¹). O experimento na região Meio Oeste dos EUA também iniciou em 1985 e consistiu de dois sistemas de preparo: PC e PD; duas rotações de cultura: milho contínuo e milho-soja (*Glycine max*); e três doses de N (0, 80 e 160 kg N ha⁻¹). As coletas de solo foram realizadas em duas camadas de solo, de 0 a 10 e 10 a 20 cm, coletadas em 2011 no Brasil e 2014 nos EUA, nas quais foi analisado o teor de COS e C orgânico particulado (COP), calculados os estoques de COS e COP, índice de estratificação (IE) e de labilidade (IL) do C. A substituição do PC pelo PD aumentou os teores de COS e COP na ordem A/M<V/M<AV/MC, e estoques de COS e COP na camada de 0 a 10 cm de profundidade em ambos os solos. Além disso, o cultivo em PD melhorou os indicadores da qualidade do solo, IE do COS e COP, bem como o IL, comparado aos indicadores em PC na camada superficial dos solos. O estoques de COS e COP aumentaram na camada superficial com a inclusão de leguminosas nos sistemas de cultura no solo subtropical, aumentando o IE. Por sua vez, no solo temperado, a inclusão de soja não aumentou o estoque de COS, porém aumentou o estoque de COP, melhorando os indicadores de qualidade do solo, o IE do COP e IL. A diversificação dos sistemas de culturas, utilizando gramíneas e leguminosas, em PD por longa duração aumenta o teor de C no solo e a fração lábil da MO, aumentando a qualidade do solo.

5.1. INTRODUÇÃO

O C orgânico do solo (COS) é fundamental na melhoria da qualidade do solo, apresentando importante função nos agroecossistemas (Nogueirol et al., 2014). O papel do COS na qualidade química (Díaz-Zorita & Grove, 2002; Karlen et al., 2013a), física (Ferreira et al., 2012) e biológica (Franzluebbers, 2002b) tem sido estudado ao longo do tempo em diferentes ambientes, nos quais a qualidade do solo tem sido reduzida em decorrência do intenso revolvimento do solo e do baixo aporte de resíduos (Andrews et al., 2004; Bayer et al., 2006a; Sá et al., 2014). Esse efeito é normalmente mais pronunciado em solos tropicais e subtropicais, em comparação aos solos de clima temperado (Franzluebbers, 2002b). Contudo, sistemas em PD têm demonstrado que é possível reduzir o impacto das práticas de manejo, bem como restaurar a qualidade do solo em diferentes ambientes.

A qualidade do solo, a qual representa a capacidade do solo em desenvolver suas funções, está diretamente relacionada ao seu conteúdo de material orgânico (Franzluebbers, 2002b), o qual depende do aporte de C (Lovato et al., 2004; Aziz et al., 2013) e da adoção de sistemas conservacionistas de preparo de solo (Zanatta et al., 2007; Blanco-Canqui & Lal, 2009; Nogueirol et al., 2014; Sá et al., 2014). Além disso, o conteúdo orgânico do solo pode variar em diferentes ambientes, de acordo com a precipitação, a temperatura, a constituição mineralógica e práticas de manejo do solo (Franzluebbers, 2002b; Six et al., 2002; Ogle et al., 2005). A manutenção de resíduos sobre o solo nos sistemas conservacionistas promove a estratificação do COS no perfil, porém, a magnitude da estratificação pode variar entre solos de climas diferentes, bem como reduzir após longo período de cultivo.

A manutenção de resíduos vegetais sobre o solo desempenha função essencial no controle da erosão, na infiltração de água, no fluxo de gases e na conservação de nutrientes (Franzluebbers, 2002b; Melero et al., 2012; Ferreira et al., 2013). Nesse aspecto, a comparação de atributos químicos, físicos ou biológicos da camada superficial do solo, altamente influenciada pelas práticas de manejo, e as camadas subsuperficiais do solo, onde o impacto das práticas de manejo é menor, pode ser utilizada como um

indicativo de qualidade do solo (Franzluebbers, 2002b; Sá & Lal, 2009; Ferreira et al., 2013), gerando o índice de estratificação (IE). De acordo com Franzluebbers (2002b), esse índice se adequa a situações em que objetiva-se avaliar diferentes solos, pois a avaliação dos valores brutos não é adequada devido à influência de fatores como temperatura, precipitação, textura e mineralogia do solo, que determinam a magnitude dos atributos em cada ambiente, como, por exemplo, o teor de COS.

Diversos estudos têm destacado o uso do IE como indicador da qualidade do solo, principalmente em solos de clima temperado (Díaz-Zorita & Grove, 2002; Franzluebbers, 2002b; Lou et al., 2012; Melero et al., 2012), os quais ressaltam o tempo como um fator primordial na melhoria da qualidade do solo. Em estudos recentes, o IE do COS tem sido aplicado em solos tropicais e subtropicais (Tormena et al., 2004; Sá & Lal, 2009; Briedis et al., 2012b; Ferreira et al., 2012; Ferreira et al., 2013), contudo, tem-se verificado que os valores indicados como adequados para esses solos são menores que os indicados para solos de clima temperado, nos quais, o IE é igual a 2 em PD (Franzluebbers, 2002b). De acordo com Ferreira et al. (2013) o IE do COS adequado em solos tropicais e subtropicais pode variar de 1,5 a 1,7, em decorrência do ambiente mais oxidativo nas camadas superficiais e maior estabilidade química do COS nas camadas subsuperficiais..

A definição da espessura da camada superficial utilizada no IE baseia-se na importância que esta exerce em cada sistema (Franzluebbers, 2002b). Normalmente, a camada de solo até 5 cm de profundidade é utilizada como parâmetro em sistemas de cultivo de curta duração, contudo, sistemas de PD de longa duração, organizados e estáveis (Vezzani & Mielniczuk, 2009), profundidades maiores que 5 cm que desempenham importante função no sistema como um todo. Entretanto, a adoção de camadas do solo mais espessas, pode resultar em valores de IE menores aos estabelecidos como adequados, porém, ainda assim permite avaliar a evolução dos sistemas.

Além do IE do COS, a utilização de outros parâmetros de solo, sensíveis às práticas de manejo, é essencial para complementar a avaliação da qualidade do solo (Franzluebbers, 2002a; Franzluebbers, 2002b; Melero et al., 2012). Nesse aspecto, a distribuição do C em frações da matéria orgânica do solo pode ser incluída na avaliação da sua qualidade, visto a sensibilidade

destes perante as práticas de manejo (Sá et al., 2014) e sua influência direta na qualidade do solo. O COS pode ser dividido em duas frações, em C orgânico particulado (COP) e C orgânico associado aos minerais (CAM) (Cambardella et al., 2001; Bayer et al., 2002; Pikul et al., 2007). O COP representa a fração de COS prontamente disponível ou lábil, originado de resíduos de plantas, animais, e fungos, apresentando estrutura celular reconhecível, que corresponde ao tamanho de partículas da areia ou à fração leve. A fração de CAM corresponde à fração de C mais estável, que se encontra protegida em agregados ou associada a partículas de silte, argila e óxidos, correspondendo às partículas $< 53\mu\text{m}$ (Bayer et al., 2001; Cambardella et al., 2001).

O COP apresenta estreita relação com a adição e a qualidade dos resíduos vegetais adicionados ao solo (Pikul et al., 2007; Briedis et al., 2012b), e com as práticas de manejo que aceleram o processo degradativo do solo. A proporção das frações do COS (COP e CAM) pode ser utilizada como um indicador de qualidade do solo, ou índice de labilidade (IL) do C, devido à sensibilidade ao manejo do solo, complementando o uso do IE. Assim, solos cultivados em PD podem apresentar maior IL, comparados aos em PC (Conceição et al., 2014; Nogueirol et al., 2014), indicando a maior presença de material mais facilmente decomponível pelos microrganismos, resultante do aporte de C via resíduos vegetais, bem como pela redução das perdas de COS.

A interação entre os atributos do solo e as práticas de manejo do solo é cercada de variabilidade dentro dos sistemas, dificultando a comparação entre ambientes, principalmente devido aos diferentes tipos de solo, de clima e de manejo do solo (Six et al., 2002; Pikul et al., 2007). A quantidade e a qualidade do COS podem fornecer informações importantes relacionadas ao manejo e as funções do solo, permitindo identificar práticas de manejo sustentáveis em diferentes ambientes. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito de sistemas de preparo do solo, sistemas de cultura e adubação nitrogenada sobre o COS e indicadores de qualidade de um solo franco argilo-arenoso na região Sul do Brasil e um solo franco argilo-siltoso na região Meio-Oeste dos EUA, cultivados por longa duração.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foram utilizados dois experimentos de longa duração, um em solo de clima subtropical localizado em Eldrado do Sul, na região Sul do Brasil, e outro em solo de clima temperado, localizado em Concord, na região Meio-Oeste dos EUA. As principais características dos experimentos são apresentadas na Tabela 1.

5.2.1. Experimento na Região Sul do Brasil

Este experimento foi instalado na região da Depressão Central do RS em uma área com relevo suave ondulado, com declive médio de 5 %. O solo é um franco argilo-arenoso originado de siltitos e arenitos, o qual apresenta baixa fertilidade natural, elevada acidez e saturação por alumínio. O clima na região é caracterizado por precipitação média anual de 1440 mm, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano e quatro estações bem definidas. A temperatura média anual é de 19,4 °C, com médias diárias que variam de 10 a 33 °C (Figura 1). A vegetação nativa predominante na área do experimento é composta predominantemente por gramíneas (*Paspalum* e *Andropogon*), sendo que, em 1969 a conversão da área para o uso agrícola, com o cultivo de nabo (*Brassica napus* L.) no inverno e girassol (*Helianthus annuus* L.) no verão, ocasionalmente soja (*Glycine max* L.) em preparo convencional do solo.

O experimento foi instalado com delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições. Nas parcelas principais (15 m x 20 m) foram alocados três sistemas de preparo de solo: PC, preparo reduzido (PR) e PD, e, nas subparcelas (5 m x 20 m) foram distribuídos três sistemas de cultura: A/M, V/M e AV/MC, sendo duas doses de N (0 e 180 kg N ha⁻¹) aplicada em faixas nos blocos (45 x 10 m) (Bayer, 1992; Zanatta et al., 2007). Contudo, para esse estudo foram utilizados apenas os sistemas PC e PD.

Os tratamentos conduzidos sob PC são arados anualmente até 20 cm de profundidade, aproximadamente, em Setembro/Outubro (primavera no Hemisfério Sul), seguido por duas gradagens até 10 cm de profundidade usando grade niveladora. O sistema de PD consiste do controle químico de plantas invasoras e com revolvimento do solo apenas no sulco de semeadura. A semeadura do milho foi realizada após os preparos do solo com taxa de

60.000 sementes ha^{-1} , aproximadamente, utilizando espaçamento de 0,90 m entrelinhas. A adubação de base foi realizada durante a semeadura (no sulco) aplicando 20 kg de N, 80 kg de P_2O_5 e 80 kg de K_2O ha^{-1} , com semeadora-adubadora (Vence Tudo, modelo AS11500). Na adução nitrogenada de cobertura foi aplicada ureia superficial na cultura do milho, em estágio V₇, sendo que, de 1985 a 1994, foi aplicada a dose de 120 kg ha^{-1} de N, e, a partir de 1994, a dose foi de 180 kg de N ha^{-1} .

As plantas de cobertura de inverno foram semeadas anualmente após a colheita do milho, em Abril/Maio (outono no Hemisfério Sul). A aveia e a ervilhaca foram semeadas na taxa de 100 kg ha^{-1} de semente, quando semeadas individualmente, e de 40 kg ha^{-1} de ervilhaca e 60 kg ha^{-1} de aveia quando semeadas em consorcio. Contudo, o caupi foi semeado manualmente entre as linhas de milho, 20 a 30 dias após a semeadura, na taxa de 3-4 sementes por cova, com espaçamento de 0,40 m entre covas.

5.2.2. Experimento na Região Meio-Oeste dos EUA

O experimento está situado na região das Grandes Planícies Norte Americanas, em um solo franco argilo-siltoso, formado a partir de sedimentos aluviais, no qual o declive varia de 0 a 2 %. O solo é pobremente drenado, com predomínio da fração silte (USDA-NRCS, 2006). O clima é caracterizado por precipitação média anual de 670 mm, com chuvas concentradas nos meses de Junho/Julho (primavera no Hemisfério Norte), e temperatura média anual de 17,5 °C, com médias diárias que variam de -10 °C no inverno a 30 °C no verão (Figura 1).

Anterior ao experimento, a área foi cultivada com milho desde o início da década de 70, com revolvimento do solo realizado com grade de discos. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quarto repetições. Nas parcelas principais (30,5 m x 61,0 m) foram alocados os sistemas de preparo de solo: PC, PR e PD; nas subparcelas (10,7 m x 30,5 m) foram estabelecidas duas rotações de cultura: milho contínuo e milho-soja (uma cultura por ano, todos os anos) e, nas sub-subparcelas (61 m x 10,7 m) foram estabelecidas cinco doses de N: 0, 40, 80, 120 e 160 kg N ha^{-1} (Martellotto, 2010; Blanco-Canqui et al., 2014a). Assim como no experimento

de clima subtropical, para esse estudo foram utilizados apenas dois sistemas de preparo de solo (PC e PD), porém, somente nas doses de 0, 80 e 160 kg de N ha⁻¹.

No início, as parcelas cultivadas em PC foram aradas até 20 cm de profundidade, aproximadamente, em Março/Abril (primavera no Hemisfério Norte) até 2003. A partir 2003, a aração passou a ser realizada em Outubro/Novembro (outono) e, antes da semeadura foi realizada uma gradagem, com revolvimento do solo até 10 cm de profundidade, aplicada adubação de base e realizada mais uma gradagem. O sistema de PD consiste do controle químico de plantas invasoras e posterior semeadura do milho e da soja com revolvimento do solo apenas no sulco de semeadura.

A semeadura do milho foi realizada na taxa de 63.500 sementes ha⁻¹, enquanto a cultura da soja foi semeada, em média, na taxa de 398.000 sementes ha⁻¹ nos últimos 5 anos. A adubação nitrogenada na cultura do milho foi aplicada superficialmente na forma de nitrato de amônio, normalmente antes do preparo de solo na primavera. Na adubação de base foi aplicado somente fertilizante fosfatado, com base na recomendação da Universidade de Nebraska (Shapiro et al., 2008).

5.2.3. Coleta e Análise de Solo

Amostras de solo foram coletadas antes da semeadura das culturas comerciais em 2011 no experimento no Sul do Brasil e 2014 no experimento na região Meio-Oeste dos EUA. Em ambos experimentos foram coletadas aleatoriamente seis subamostras de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm de profundidade utilizando trado calador de 1,5 cm de diâmetro, em cada parcela. O solo das seis subamostras constituiu uma amostra composta para cada profundidade, as quais foram secas ao ar, moídas e passadas em peneira de 2,0 mm e, posteriormente, estocadas em sacos plásticos.

Para a determinação de COS, uma fração da amostra de solo foi moída e passada em peneira de 0,25 mm, e o teor de C analisado por combustão seca (Nelson & Sommers, 1996), utilizando NC Soil Analyzer (Flash 2000). O COP foi analisado por perda de peso em ignição (Cambardella et al., 2001) e, para estimar o estoque de COS e COP, foi utilizado o método de

massa equivalente (Ellert & Bettany, 1995; de Bona, 2005), utilizando como referência a densidade do solo no tratamento A/M em PC no experimento no Sul do Brasil e milho contínuo em PC no experimento no Meio-Oeste dos EUA (Tabela 6).

Tabela 6. Densidade do solo nos diferentes sistemas de cultura cultivados em PC e PD no solo de clima subtropical e no solo de clima temperado na média dos níveis de adubação nitrogenada

Camada	Densidade do solo (Mg m ⁻³)					
	Preparo Convencional			Plantio Direto		
<i>cm</i>	----- Eldorado do Sul, BRA* -----					
	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC
0 – 10	1,58	1,56	1,56	1,53	1,42	1,37
10 – 20	1,73	1,71	1,68	1,68	1,63	1,64
0 – 20	1,65	1,64	1,62	1,60	1,52	1,51
	----- Concord, EUA** -----					
	Milho	Milho-soja		Milho	Milho-soja	
0 – 10	1,16	1,16		1,14	1,13	
10 – 20	1,34	1,35		1,35	1,35	
0 – 20	1,25	1,26		1,25	1,24	

*Densidade do solo obtida em coleta realizada em setembro de 2014. **Densidade estimada utilizando dados de Martello (2010).A: aveia, M: milho, V: ervilhaca, C: caupi.

O IE do COS e do COP foi calculado conforme descrito por Franzluebbers (2002b), utilizando a concentração na camada de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm de profundidade, calculado pela seguinte equação:

$$IE = [C_{(0-10)}] / [C_{(10-20)}]$$

na qual, [C₍₀₋₁₀₎]: concentração de C na camada de 0 a 10 cm de profundidade e [C₍₁₀₋₂₀₎]: concentração de C na camada de 10 a 20 cm de profundidade.

O IL do C foi calculado pela relação entre o teor de COP e o COS em cada camada de solo, pela seguinte equação:

$$IL = [COP_{(0-10)}] / [COS_{(0-10)}]$$

na qual, [COP₍₀₋₁₀₎] é a concentração de COP na camada de 0 a 10 cm e [COS₍₀₋₁₀₎] é a concentração de COS na camada de 0 a 10 cm de profundidade.

5.2.4. Produção de Resíduo Vegetal e Adição de Carbono

A quantidade de resíduo produzido pela cultura do milho no experimento no Sul do Brasil foi estimada com base no rendimento de grãos, de acordo com equação proposta por Lovato et al. (2004):

$$MS \text{ (Mg ha}^{-1}\text{)} = 0,96 * \text{Rend} + 2,91 \text{ (r}^2 = 0,91, p < 0,05\text{)}.$$

na qual, MS é a quantidade de resíduo vegetal produzido pela cultura do milho e Rend é o rendimento de grãos de milho (Mg ha⁻¹). A quantidade de resíduo produzida pelas plantas de cobertura foi estimada a partir das médias de rendimento obtidas por Zanatta et al. (2007). A produção total de resíduos por parcela foi estimada pela soma de resíduos da parte aérea (milho e plantas de cobertura) e massa de raízes, assumindo a contribuição de raízes em 30 % da parte aérea (Bayer et al., 2000; Zanatta et al., 2007). No experimento no Meio-Oeste dos EUA, a quantidade de resíduo de milho foi determinada anualmente pela colheita aleatória de seis plantas, na maturidade fisiológica, em cada sub-subparcela. As amostras foram secas e pesadas, e estimada a produção por hectare. A quantidade de resíduos da parte aérea de soja foi estimada com base na produção de grãos, utilizando índice de colheita de 0,43 e contribuição de raízes de 0,14 (Martellotto, 2010).

Para estimar a quantidade de C aportado pelas culturas foi assumido o teor de 40 % de C nos resíduos (Bayer et al., 2000).

5.2.5. Análise Estatística

Quando o modelo de distribuição normal dos dados não foi verificado, os dados foram transformados. Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando Proc Mixed (SAS, 2014), considerando sistemas de preparo, sistemas ou rotações de culturas, doses de N e camada de solo como fatores fixos, e blocos como efeito aleatório. As médias foram estimadas utilizando *LSMeans*, e comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de significância. O modelo estatístico de análise de variância foi o seguinte:

$$Y_{(ijklm)} = \mu + b_i + A_j + \text{Erro } a(ij) + B_k + A_j B_k + \text{Erro } b(ijk) + C_l + A_j C_l + B_k C_l + A_j B_k C_l + \text{Erro } c(ijkl) + D_m + A_j D_m + B_k D_m + C_l D_m + A_j B_k D_m + A_j C_l D_m + B_k C_l D_m + A_j B_k C_l D_m + \text{Erro } d(ijklm)$$

no qual, no experimento no Sul do Brasil, b é bloco ($i= 1, 2, 3$); A é sistema de preparo ($j= 1, 2$); B é sistema de cultura ($k= 1, 2, 3$); C é dose de N ($l= 1, 2$) e D é camada de solo ($m= 1, 2$). No experimento na região Meio-Oeste dos EUA, b é bloco ($i= 1, 2, 3, 4$); A é sistema de preparo ($j= 1, 2$); B é rotação de cultura ($k= 1, 2$); C é dose de N ($l= 1, 2, 3$) e D é camada de solo ($m= 1, 2$). As médias dos tratamentos foram estimadas utilizando *LSMeans*, e as diferenças comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1. Produção de Resíduos e Adição de Carbono no Solo

A inclusão de leguminosas nos sistemas de cultura aumentou a adição média anual de C no solo subtropical, aportando em média 5,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, comparada com os sistemas somente com gramíneas que aportaram 4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ quando cultivadas sem adubação nitrogenada em PC e PD (Figura 2). A aplicação de N aumentou o aporte de C em todos os sistemas de culturas, que variaram de 6,2 a 7,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, independente do preparo de solo, sendo que, foi verificada maior contribuição das plantas de cobertura na adição de resíduos, em relação à cultura do milho (Figura 2). No experimento no Meio-Oeste dos EUA, o maior aumento na adição de C no solo foi decorrente do uso da adubação nitrogenada, sendo que o aporte anual variou de 2,0 a 3,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 2). A menor adição de C foi verificada nos tratamentos sem adubação nitrogenada, independentemente da rotação, e o maior aporte foi verificado quando aplicado 160 kg de N ha⁻¹.

Paralelamente, a adição média anual de C no experimento no Sul do Brasil foi maior do que no experimento na região Meio-Oeste dos EUA, devido ao cultivo intensivo de plantas ao longo do ano. No clima temperado, o cultivo de plantas é limitado pelo inverno rigoroso, porém, alguns estudos têm demonstrado o potencial do uso de culturas de cobertura de solo na primavera (Blanco-Canqui & Lal, 2009; Blanco-Canqui et al., 2014b). Burle et al. (1997)

destacaram a importância do cultivo intensivo de planta, com diversificação de espécies e crescimento contínuo de plantas sobre a adição de C e seu impacto sobre o teor de COS.

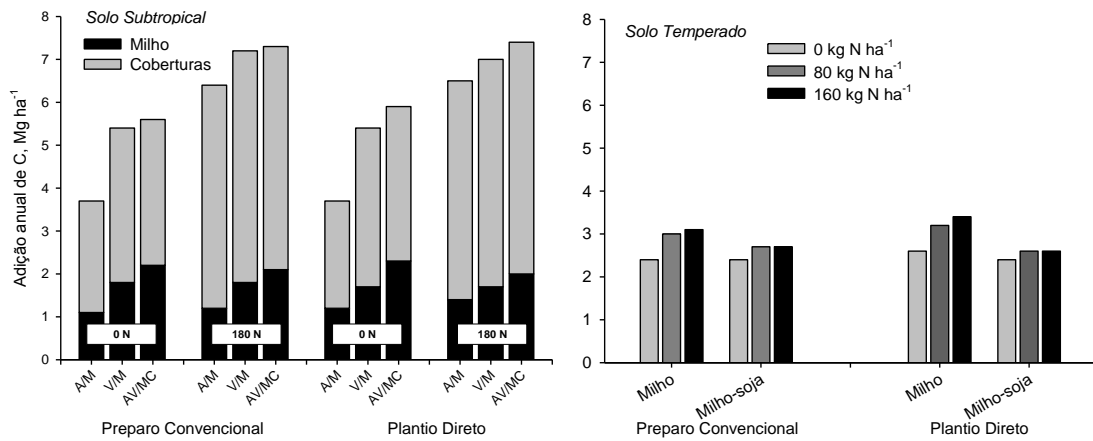


Figura 2. Adição média anual de C ao solo pelos sistemas de culturas, cultivados com diferentes doses de N em PC e PD no experimento na região Sul do Brasil (26 anos) e na região Meio-Oeste dos EUA (28 anos). A: aveia, M: milho, V:ervilhaca, C: caupi.

5.3.2. Carbono Orgânico Total, Carbono Orgânico Particulado e Estoques de Carbono no Solo

No solo de clima subtropical, o teor de COS apresentou maior dependência do C aportado, comparado com o solo de clima temperado, como pode ser observado na Figura 3, no qual a maior adição de C, incrementou o teor de COS. A mesma tendência foi verificada no solo em PC e PD, porém em PC os teores de COS foram menores que os verificados em PD, corroborando com os resultados obtidos por (Lovato et al., 2004). No solo temperado, o aumento na adição de C não influenciou o teor de COS, independente do sistema de preparo (Figura 3). Esses resultados foram diferentes aos verificados por Chung et al. (2008), os quais verificaram uma relação direta entre o aporte C e o teor de COS na camada de 0 a 5 cm de profundidade de um solo temperado cultivado por 35 anos com milho em PC e PD, que podem ser devidos à espessura da camada de solo utilizada nesse estudo.

O manejo do solo de longa duração influenciou significativamente o teor de COS na camada de 0 a 10 cm de profundidade nos dois solos analisados ($p < 0,05$). No experimento em Eldorado do Sul, o teor do COS

variou de 9,82 g kg⁻¹ em PC a 15,78 g kg⁻¹ em PD (Tabela 7), enquanto que, no experimento em Concord a variação foi de 20,92 a 26,37 g kg⁻¹ em PC e PD, respectivamente (Tabela 8). Em ambos os solos foi verificado um aumento significativo ($p < 0,05$) do teor de COS em PD na camada superficial, comparada com a camada de 10 a 20 cm de profundidade. Todavia, em PC não foi verificada estratificação do C entre as camadas de solos (Tabela 7 e Tabela 8).

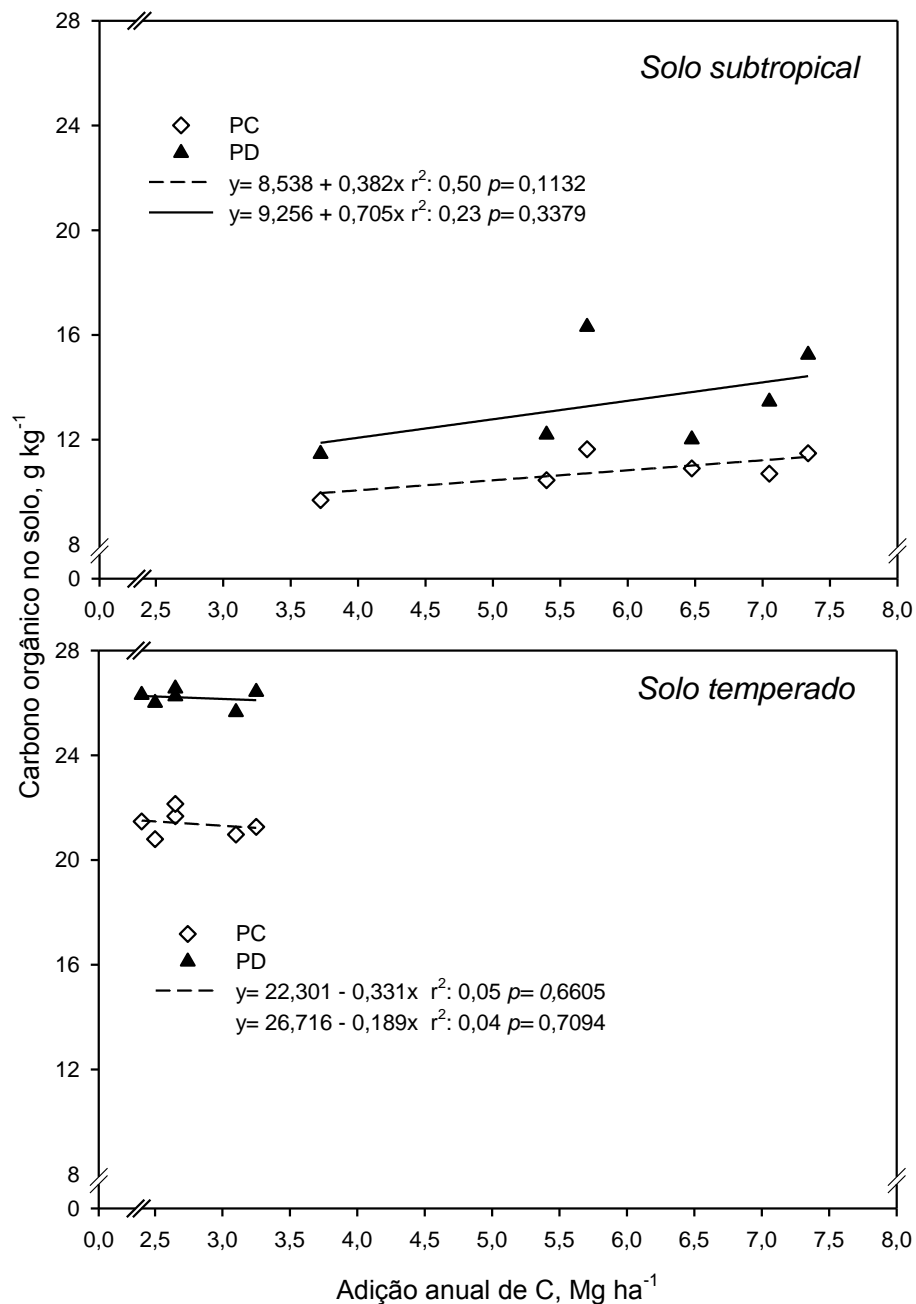


Figura 3. Relação entre adição média anual de C e o COS na camada de 0 a 10 cm no solo subtropical e no solo temperado cultivados por longa duração em PC e PD

De acordo com Franzluebbbers (2002b) e Ogle et al. (2005), o teor de COS aumenta em solos de regiões com menor temperatura e precipitação média anual, alto conteúdo de argila, alto aporte de resíduos e pelo uso de sistemas conservacionistas de preparo. A magnitude do incremento do teor de COS em cada ambiente foi dependente dos sistemas de preparo, bem como foram altamente influenciados pela composição dos sistemas de cultura ($p < 0,05$). Em PC, o maior contato do resíduo com o solo e o aumento do processo oxidativo do material orgânico decorrente do revolvimento do solo reduziram o teor de COS. Por outro lado, a manutenção dos resíduos na superfície do solo reduz a taxa de mineralização dos resíduos (Campos et al., 2011b; Rabbi et al., 2014).

Tabela 7. Carbono orgânico do solo, frações do COS e estoques de C em um solo franco argilo-arenoso, de clima subtropical, cultivado com diferentes sistemas de cultura e doses de N em PC e PD na região Sul do Brasil

Camada	Preparo Convencional			Plantio Direto		
	A/M	V/M	AV/MC	A/M	V/M	AV/MC
cm	----- Carbono orgânico do solo, g kg ⁻¹ -----					
0 – 10	10,30 Aa	10,58 Aa	11,56 Ba	a 11,74 Ab	a 12,83 Ab	a 15,78 Aa
10 – 20	9,82 Aa	10,06 Aa	10,08 Ab	b 8,68 Aa	b 8,89 Aa	b 8,98 Ba
0 – 20	10,06 A	10,32 A	10,82 B	10,21 Ab	10,86 Ab	12,38 Aa
	----- Carbono Orgânico Particulado, g kg ⁻¹ -----					
0 – 10	2,21 Aa	3,11 Aa	3,17 Aa	a 3,46 A	a 3,74 A	a 4,66 A
10 – 20	1,49 Aa	2,10 Aa	2,31 Aa	b 1,34 A	b 1,20 B	b 1,22 B
0 – 20	1,85 Ab	2,61 Aab	4,22 Aa	2,40 Aa	2,47 Aa	2,94 Aa
	----- Estoque de COS, Mg ha ⁻¹ -----					
0 – 10	16,26 Aa	16,69 Ba	18,26 Ba	a 18,51 Aa	a 20,23 Aa	a 24,89 Aa
10 – 20	17,02 Aa	17,43 Aa	17,45 Aa	a 15,04 Ab	b 15,39 Ab	b 15,54 Bb
0 – 20	33,31 Aa	34,16 Aa	35,81 Ba	33,78 Ab	33,92 Ab	40,96 Aa
	----- Estoque de COP, Mg ha ⁻¹ -----					
0 – 10	3,49 Aa	4,91 Aa	5,01 Aa	a 5,46 Aa	a 5,90 Aa	a 7,36 Aa
10 – 20	2,57 Aa	3,64 Aa	3,99 Aa	b 2,32 Aa	b 2,07 Ba	b 2,12 Ba
0 – 20	6,11 Aa	8,63 Aa	9,08 Aa	7,94 Aa	8,17 Aa	9,74 Aa

Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Letras minúsculas antes das médias comparam camadas na coluna, letras maiúsculas comparam preparos de solo na linha para mesmo sistema de cultura e letras minúsculas após médias comparam sistemas de cultura na linha dentro de um mesmo preparo de solo. COS: carbono orgânico do solo. COP: carbono orgânico particulado

O cultivo de leguminosas nos sistemas de cultura apresentou efeito significativo sobre o COS em PD no solo de clima subtropical (Tabela 7), porém não influenciou no solo de clima temperado (Tabela 8). A quantidade média anual de C de aportada pelo sistema AV/MC, aproximadamente, 7,5 Mg ha⁻¹ (Figura 2) foi superior à taxa de perda do COS, aumentando o teor de COS, comparado aos sistemas A/M e V/M (Tabela 7). Esse efeito se deve à maior produção de matéria seca, bem como à qualidade do material que é adicionado (Giacomini et al., 2003b; McDaniel et al., 2014), como baixa relação C:N, apresentando diferentes graus de decomposição e liberação de nutrientes no solo (Aita & Giacomini, 2003; Giacomini et al., 2003a), que afetam diretamente as frações do COS. No entanto, no solo de clima temperado, o pequeno efeito das rotações de cultura pode ser devido à similaridade no aporte de resíduos pelas culturas.

Tabela 8. Teores e estoques de C orgânico do solo e C orgânico particulado de em um solo franco argilo-siltoso cultivado com diferentes rotações de cultura e doses de N em PC e PD na região do Meio-Oeste dos EUA

Camada cm	Preparo Convencional		Plantio Direto	
	Milho contínuo	Milho-soja	Milho contínuo	Milho-soja
	----- Carbono orgânico do solo, g kg ⁻¹ -----			
0 – 10	21,01 Ba	21,76 Ba	a 26,02 Aa	a 26,37 Aa
10 – 20	20,92 Aa	22,15 Aa	b 21,77 Aa	b 22,19 Aa
0 – 20	20,96 Ba	21,96 Ba	23,89 Aa	24,28 Aa
	----- Carbono Orgânico Particulado, g kg ⁻¹ -----			
0 – 10	5,68 Bb	8,29 Ba	a 8,89 Ab	a 13,87 Aa
10 – 20	6,94 Aa	6,37 Ab	b 5,26 Ba	b 5,62 Aa
0 – 20	6,31 Aa	7,11 Ba	7,01 Ab	9,75 Aa
	----- Estoque de COS, Mg ha ⁻¹ -----			
0 – 10	b 24,38 Ba	b 24,97 Ba	30,19 Aa	30,59 Aa
10 – 20	a 28,03 Aa	a 29,68 Aa	29,17 Aa	29,74 Aa
0 – 20	52,41 Ba	54,89 Ba	59,74 Aa	60,70 Aa
	----- Estoque de COP, Mg ha ⁻¹ -----			
0 – 10	b 6,59 Bb	9,32 Ba	a 10,31 Ab	a 16,09 Aa
10 – 20	a 9,30 Aa	8,42 Aa	b 6,87 Ba	b 7,53 Aa
0 – 20	15,78 Ba	17,89 Ba	17,52 Ab	24,36 Aa

Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Letras minúsculas antes das médias comparam camadas de solo na coluna, letras maiúsculas comparam preparos de solo na linha para mesma rotação de cultura e letras minúsculas após as médias comparam rotações de cultura na linha dentro de um mesmo preparo de solo. COS: carbono orgânico do solo. COP: carbono orgânico particulado

Dentre as frações do COS, o COP é um componente que desempenha importante função no solo (Pikul et al., 2007), representando a fração de C prontamente disponível à microbiota do solo. No experimento na região Sul do Brasil, os teores de COP na camada de 0 a 10 cm de profundidade foram significativamente superior aos verificados na camada de 10 a 20 cm de profundidade em PD, enquanto que, em PC não foi verificada diferença significativa no teor de COP entre as camadas (Tabela 7). Nesse mesmo experimento, não foi verificado efeito significativo dos sistemas de culturas sobre o teor de COP nos dois sistemas de preparo. Em PC, na média dos sistemas de cultura, o teor de COP foi de 2,83 g kg⁻¹, enquanto que em PD, a média foi de 3,95 g kg⁻¹ (Tabela 7).

No experimento na região Meio-Oeste dos EUA, a concentração de COP variou de 5,26 a 13,87 g kg⁻¹, na camada de 10 a 20 cm e de 0 a 10 cm, respectivamente, também verificados sob PD (Tabela 8). A variação do teor de COP indica que o sistema conservacionista de preparo de solo aumenta a fração do C prontamente disponível na camada superficial, em detrimento às camadas mais profundas do solo. Diversos estudos têm demonstrado que a adoção de PD aumenta o teor de COP próximo à superfície do solo (Bayer et al., 2006b; Pikul et al., 2007; Briedis et al., 2012b; Franzluebbbers & Stuedemann, 2014), refletindo a sensibilidade dessa fração às práticas de manejo do solo e à qualidade do resíduo adicionado.

O efeito dos sistemas de preparo de solo sobre o teor de COP foi semelhante no solo de clima subtropical e temperado, nos quais o teor de COP foi dependente da concentração de COS, com $r = 0,72$ e $r = 0,66$ ($p < 0,0001$) (dados não apresentados), respectivamente. Contudo, o efeito dos sistemas de cultura diferiram entre os experimentos dentro de cada sistema de preparo. No solo subtropical, o teor de COP na camada superficial em PD aumentou na ordem $A/M < V/M < AV/MC$, porém não foi verificada diferença significativa entre as médias. Em PC, o teor de COP no sistema AV/MC foi significativamente superior à média da A/M e V/M na camada de 0 a 20 cm (Tabela 7). No solo de clima temperado, foi verificado um aumento significativo no teor de COP na camada de 0 a 10 cm do solo cultivado com a rotação milho-soja, independente do sistema de preparo de solo (Tabela 8).

O menor efeito dos sistemas de cultura no solo subtropical sobre o teor de COP pode estar associado à espessura da camada de solo avaliada. O efeito da manutenção superficial dos resíduos em PD podem ser restringidos aos centímetros superficiais do solo, não se estendendo para camadas mais profundas. Entretanto, devido ao resíduo da soja apresentar baixa relação C:N, sua degradação pode ocorrer rapidamente e aumentar a fração particulada do COS, em detrimento ao resíduo de milho que apresentam maior relação C:N. Briedis et al. (2012b) relataram que o teor de COP no solo aumentou com o maior grau de decomposição dos resíduos, assim, resíduos menos recalcitrantes tendem a aumentar o teor de COP no solo.

As práticas de manejo do solo influenciaram significativamente os estoques de C no solo, seja alterando a densidade ou regulando as concentrações de C no solo. O sistema de PD aumentou significativamente o estoque de CO nos solos subtropical e temperado na camada de 0 a 10 cm ($p < 0,05$), independente do sistema de cultura ou rotação. Contudo, o comportamento do PD sobre os estoques de C em cada experimento foi dependente dos sistemas de culturas. No solo subtropical, os sistemas V/M e AV/MC sequestraram mais C em PD na camada superficial, 20,23 e 24,89 Mg ha⁻¹, comparado ao PC, 16,69 e 18,26 Mg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 7). Todavia, no sistema A/M o estoque de COS foi menor em PD, comparado ao preparo convencional. Além disso, as culturas aumentaram os estoques de C na ordem A/M < V/M < AV/MC na camada superficial, bem como na camada de 0 a 20 cm em PD, porém, em PC houve apenas uma tendência, não sendo observada diferença significativa entre as culturas. No solo de clima temperado, o PD sequestrou maior quantidade de C, comparado com PC, os quais apresentaram na média das rotações 30,39 e 24,68 Mg ha⁻¹ de COS na camada superficial (Tabela 8). Devido à baixa diferença nos aportes de C e nos teores de COS entre as rotações de culturas, não foi verificada diferença significativa nos estoques de C entre as rotações na camada de 0 a 20 cm de profundidade (Tabela 8).

O efeito das práticas de manejo do solo sobre o estoque de COP foi diferenciado nos solos analisados. No solo de clima subtropical, o estoque de COP em PD foi significativamente superior ($p < 0,05$) na camada superficial do solo comparado com a camada de 10 a 20 cm de profundidade (Tabela 7).

Contudo, o estoque de COP não diferiu entre os sistemas de preparo de solo e sistemas de cultura, exceto na camada de 10 a 20 cm de profundidade. Entretanto, ressalta-se que, apesar de não ser significativo, o estoque médio de COP em PD foi de 6,24 Mg ha⁻¹, enquanto em PC o estoque médio foi de 4,47 Mg ha⁻¹, na camada superficial (Tabela 7). Do mesmo modo, os sistemas de culturas aumentaram o estoque de COP na ordem A/M < V/M < AV/MC, na média de 4,47, 5,40 e 6,18 Mg ha⁻¹, respectivamente, porém as diferenças não foram significativas (Tabela 7).

No solo de clima temperado, o estoque de COP variou de 6,59 a 16,09 Mg ha⁻¹ na camada de 0 a 10 cm de profundidade (Tabela 8), sendo que os maiores valores foram observados nas rotações em PD, as quais foram significativamente superior aos estoques verificados na camada de 10 a 20 cm e aos tratamentos em PC (Tabela 8). Semelhante ao comportamento verificado no solo de clima subtropical, o estoque de COP na camada de 10 a 20 cm em PC foi superior ao observado em PD. Em ambos os casos, essa inversão pode estar relacionada ao revolvimento do solo, com incorporação dos resíduos na camada mais profunda, aumentando a quantidade de C prontamente disponível, representado pelo COP nessa camada, visto que há uma limitação na descida do C no perfil do solo em PD.

5.3.3. Índice de Estratificação e Labilidade do Carbono Orgânico do Solo

O IE do COS e do COP foi significativamente superior em PD, comparado com PC ($p < 0,05$) nos dois solos analisados (Figura 4). No solo subtropical, o IE do COS em PD foi de 1,5, enquanto que, no solo de clima temperado o IE foi de 1,2. Todavia, o IE do COP foi superior ao do COS em ambos os solos, os quais apresentaram IE de 3,3 e 2,2 no solo subtropical e temperado, respectivamente (Figura 4). Como, no sistema de preparo convencional do solo, as camadas de solo são revolvidas anualmente, o IE nesse sistema de preparo foi próxima a 1,0, em ambos os solos (Figura 4), resultantes da incorporação dos resíduos no solo. Esses resultados indicam que a melhoria da qualidade do solo na camada de 0 a 10 cm de profundidade, mediante a adoção de PD por longa duração, no solo de clima subtropical foi

maior que no solo de clima temperado, refletindo o maior o grau de organização e funcionamento dos sistemas (Franzluebbers, 2002b; Ferreira et al., 2013).

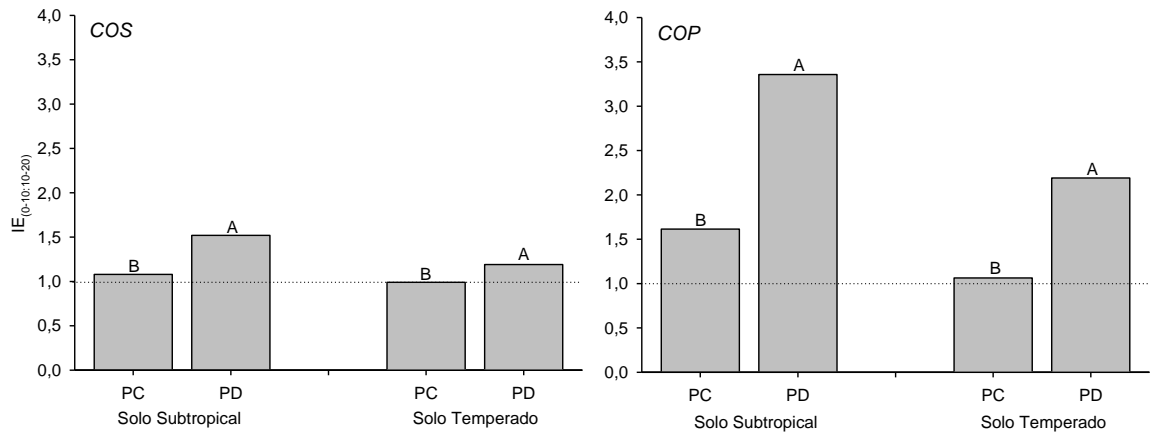


Figura 4. Efeito dos sistemas de preparo de solo de longa duração sobre a IE do COS e COP em um solo de clima subtropical na região Sul do Brasil, e em um solo de clima temperado na região Meio-Oeste dos EUA, na média dos sistemas de cultura e adubação nitrogenada. Letras iguais, para cada solo, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A inclusão de leguminosas nos sistemas de cultura aumentou a qualidade do solo, refletindo no aumento do IE dentro do próprio sistema de PD. O IE do COS cultivado com AV/MC foi de 1,8, significativamente superior à média dos tratamentos A/M e V/M (Figura 5). Do mesmo modo, o IE do COP aumentou na sequência $A/M < V/M < AV/MC$, porém não diferiram estatisticamente, a perfazendo uma média de 3,3 (Figura 5). Ao contrário, do observado no solo subtropical, no solo de clima temperado, o IE do COS não diferiu estatisticamente entre a rotação milho-soja e milho contínuo cultivados em PD, que apresentaram IE médio de 1,2. Entretanto, o IE do COP em PD aumentou significativamente com a inserção da soja na rotação, comparado com o sistema de milho contínuo, no qual apresentou valor próximo a 2,6 (Figura 5).

O IE do COS verificado no solo subtropical foi similar aos valores verificados por Ferreira et al. (2013) e Tormena et al. (2004) em Latossolos cultivados entre 10 e 16 anos em PD na região Sul do Brasil, nos quais o IE variou de 1,4 a 1,7. Porém, nestes estudos foi utilizada a camada superficial de 0 a 5 cm de profundidade. Apesar da camada utilizada neste estudo ser mais

espessa (10 cm), os valores de IE em PD verificados foram similares aos indicados como adequados para solos de clima tropical e subtropical (Sá & Lal, 2009; Ferreira et al., 2013), sugerindo que o cultivo em PD por longa duração, com sistemas consolidados, aumenta a qualidade do solo em maior profundidade, principalmente nos tratamentos com inclusão de leguminosas. Ao contrário, o IE do COS verificado no solo de clima temperado foi muito abaixo do valor indicado como adequado, igual a 2 (Franzluebbbers, 2002b), o qual aplica-se basicamente para camadas de solo com menor espessura e próximas à superfície. No entanto, destaca-se que o PD melhorou a qualidade da camada de 0 10 cm do solo de clima temperado, comparado ao sistema de PC, porém, sem efeito da rotação de culturas.

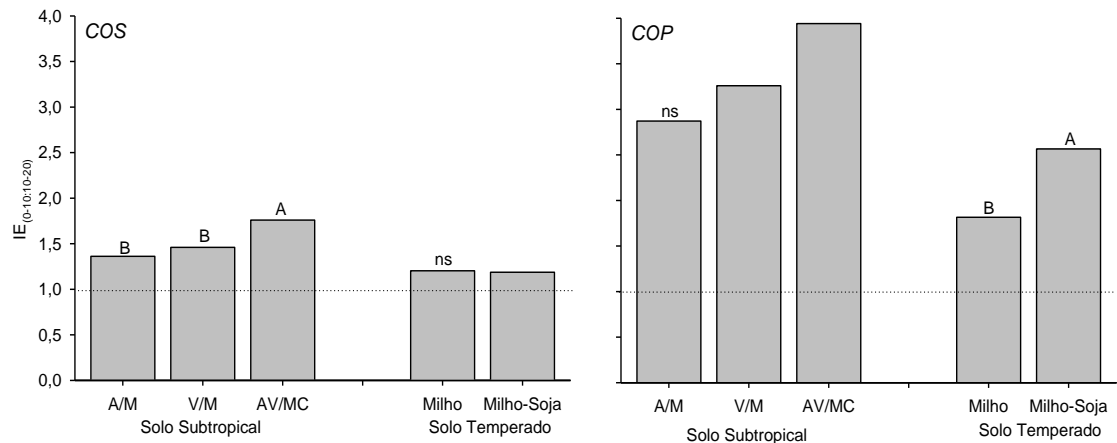


Figura 5. Efeito de sistemas de cultura sobre o índice de estratificação do C orgânico do solo e C orgânico particulado em um solo de clima subtropical e temperado cultivados em PD por longa duração. Letras comparam médias de sistemas e rotações de culturas, na média das doses de N, dentro de cada solo, sendo que, letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ns: não significativo.

Além do IE do COS, outros indicadores da qualidade do solo, mais sensíveis às práticas de manejo, devem ser utilizados para complementar a avaliação da qualidade do solo (Díaz-Zorita & Grove, 2002; Franzluebbbers, 2002b; Briedis et al., 2012b; Lou et al., 2012; Figueiredo et al., 2013). O IE do COP corroborou com os resultados obtidos pelo IE do COS, visto o aumento verificado em ambos os solos em PD (Figura 4), apresentando relação direta com o IE do COS, indicando um aumento na qualidade dos solos. Todavia, o efeito das culturas sobre o IE do COP em PD corrobora com os resultados

obtidos pelo IE do COS no solo de clima subtropical, porém, no solo temperado, verificou-se que houve maior contribuição da rotação milho-soja na qualidade do solo, na qual o IE foi significativamente superior ao milho contínuo (Figura 5). Esse resultado indica que, no solo de clima temperado, houve uma melhoria dos sistemas quando foi realizada rotação de culturas, com maior proporção de C lábil. Diferentemente do COS, para o IE do COP não existe um valor indicado como referência, contudo, devido à sua importância e sensibilidade ao manejo, o IE do COP pode complementar a avaliação da qualidade do solo (Franzluebbers & Stuedemann, 2014; Souza et al., 2014).

Devido à sensibilidade que a fração lábil do COS apresenta em relação às práticas de manejo do solo, refletindo a qualidade do C aportado (Ramnarine et al., 2015), a proporção que esta fração apresenta em relação ao COS, resultando no IL, também pode ser um indicativo da qualidade do solo. O IL nos sistemas de preparo do solo apresentou valores que variaram de 0,26 a 0,32 no solo subtropical, enquanto que, no solo de clima temperado os valores variaram de 0,29 a 0,43 (Figura 6a). No experimento no Sul do Brasil o aumento do IL na camada de 0 a 10 cm em PD não foi significativo, por sua vez, no solo temperado o IL diferiu estatisticamente entre os preparos de solo, no qual em PD o IL foi superior ao PC (Figura 6a). Além disso, o IL do C no solo de clima subtropical, cultivado em PD, não diferiu estatisticamente entre os sistemas de culturas, nos quais, a média foi de 0,25 (Figura 6b). No solo de clima temperado, o IL do C aumentou para 0,50 no solo cultivado com a rotação milho-soja em PD, significativamente superior ao solo cultivado continuamente com milho (Figura 6b).

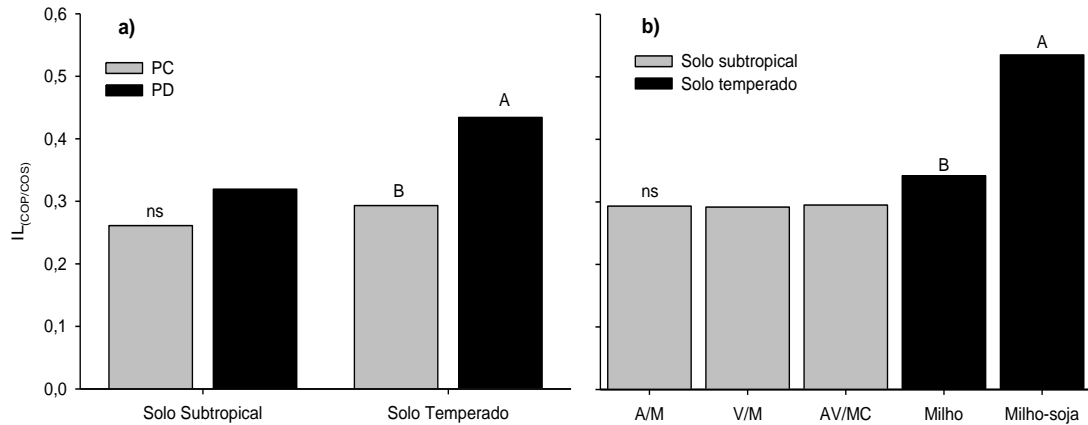


Figura 6. Efeito dos sistemas de preparo (a) e sistemas de cultura em PD (b) sobre o IL do C na camada de 0 a 10 cm no solo de clima subtropical e no solo de clima temperado cultivados por longa duração. Letras comparam sistemas de preparo (a) e rotações de culturas (b) dentro de um mesmo solo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ns: não significativo.

5.4. CONCLUSÕES

1. Os teores de COS e COP aumentam na camada de 0 a 10 cm de profundidade em PD no solo de clima subtropical e no solo de clima temperado.
2. Os sistemas de cultura com leguminosas aumentam o COS, porém não influenciam no teor de COP no solo tropical, sendo que no solo de clima temperado a inclusão da soja na rotação não aumenta o COS, mas incrementa o COP.
3. Em ambos os solos, a adoção PD aumenta a qualidade do solo, visto o aumento no IE do COS, do COP e no IL na camada de 0 a 10 cm de profundidade. Por sua vez, o cultivo de leguminosas em PD apresenta diferente comportamento entre os solos, aumentando o IE do COS e COP no solo subtropical, porém aumentando apenas a fração lábil no solo de clima temperado, visto o aumento do IE do COP e do IL.

6. ESTUDO III - EFEITO DE SISTEMAS DE CULTURA SOBRE A ACIDEZ DO SOLO E EFICIÊNCIA DA REAPLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO EM PLANTIO DIRETO DE LONGA DURAÇÃO

RESUMO – A calagem é uma prática agrícola consolidada na redução da acidez em solos tropicais e subtropicais, podendo, sua eficiência ser ampliada em plantio direto (PD) de longa duração e sistemas de culturas com alto aporte de resíduos. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência de sistemas de culturas sobre a eficiência da calagem superficial em PD de longa duração sobre os indicadores da acidez de um Argissolo Vermelho Distrófico típico. O estudo foi realizado em um experimento conduzido em PD desde 1983 na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Eldorado do Sul, RS, Brasil. Foram feitas duas coletas de solo, em setembro de 2011 (14 anos após a primeira calagem e, antecedendo a reaplicação de calcário) e a segunda em setembro de 2013, dois anos após a reaplicação superficial de 5,0 Mg ha⁻¹ de calcário. As amostras de solo foram coletadas em cinco sistemas de cultura: pousio/ milho (*Zea mays* L.) (P/M), aveia (*Avena strigosa* Schreb)/ milho (A/M), aveia + ervilhaca (*Vicia sativa* L.) / milho (AV/M), aveia+ervilhaca/ milho+caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) (AV/MC) e lablab (*Lablab purpureus* (L.) Sweet) + milho(LLM)], cultivados sem e com aplicação de calcário, em duas doses de N (0 e 180 kg ha⁻¹). As amostras foram coletadas em subcamadas de solo até 20 cm de profundidade, nas quais foram analisados o pH (H₂O) e pH SMP, teores de Al³⁺, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, e calculada a saturação por bases e por alumínio. De modo geral, o solo cultivado com leguminosas apresentou pH menor que sistemas apenas com gramíneas, aumentou a saturação por Al e reduziu a saturação por bases, tanto nos tratamentos com N, quanto sem calagem. Após dois anos da reaplicação superficial de calcário, o pH do solo foi > 5,0 até 5 cm de profundidade em todos os sistemas de culturas, independente da aplicação de N. A saturação por Al³⁺ foi reduzida para < 4,0 % nos sistemas de cultura com N até 5 cm, enquanto que nos sistemas sem N, a redução foi até 7,5 cm, independente do sistema de cultura, exceto no AV/MC. A saturação por bases aumentou significativamente para > 75 % na camada de 0 a 2,5 no P/M, A/M e LLM, e apenas no AV/M até 5 cm quando cultivado sem N. Nos sistemas com N a saturação por bases aumentou significativamente para >50 % até 7,5 de profundidade. O cultivo de leguminosas aumentou a acidez do solo, saturação por Al³⁺ e reduziu a saturação por bases nas camadas superficiais. De modo geral, os sistemas de culturas não afetaram a eficiência da calagem no sistemas de PD na camada superficial após dois anos da aplicação, mas influenciam nos efeitos na camada de 2,5 a 7,5 cm de profundidade.

6.1. INTRODUÇÃO

A área cultivada sob plantio direto (PD) no Brasil é de aproximadamente 32 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2012), correspondendo a 70 % da área cultivada com culturas de grãos. Os solos que predominam nessas áreas são ácidos e pouco férteis (Six et al., 2002; Abreu Jr. et al., 2003), os quais demandam alto aporte de insumos para correção da acidez e da fertilidade (Amaral & Anghinoni, 2001), bem como requerem reaplicação sistemática de corretivos e fertilizantes para a obtenção de elevado rendimento de grãos. Entretanto, a eficiência da calagem superficial sobre a acidez do solo em sistemas agrícolas cultivados em PD pode ser concentrada próximo à superfície do solo (Caires et al., 2006), principalmente, pelo lento deslocamento do calcário no perfil do solo. Por sua vez, o cultivo de plantas de cobertura por longa duração em PD pode mobilizar cátions no solo e beneficiar a ação da calagem em maiores profundidades.

Solos de clima tropical e subtropical são amplamente caracterizados por elevada acidez e concentração de Al trocável e baixa disponibilidade de nutrientes (Vieira et al., 2008; Nogueiro et al., 2014), que, podem comprometer o desenvolvimento de plantas (Vieira et al., 2009a; Batista et al., 2013; Paradelo et al., 2015), limitando o rendimento de grãos. Nesse aspecto, a calagem é uma prática agrícola consolidada para a correção da acidez do solo (Pavan et al., 1984; Caires & Fonseca, 2000; Kaminski et al., 2005), reduzindo o teor de Al trocável (Gatiboni et al., 2003; Zambrosi et al., 2007; Zambrosi et al., 2008; Lollato et al., 2013) e aumentando a disponibilidade de nutrientes (Weirich Neto et al., 2000; Tissi et al., 2004; Alleoni et al., 2005; Briedis et al., 2012a). No entanto, alguns estudos têm demonstrado que os efeitos da aplicação de calcário em PD têm se limitado a camadas superficiais do solo (Amaral & Anghinoni, 2001; Kaminski et al., 2005; Zambrosi et al., 2008).

A extensão da migração dos efeitos da calagem superficial no perfil do solo em sistema de PD pode estar relacionada à dose de corretivo aplicada (Alleoni et al., 2005; Kaminski et al., 2005), aos atributos do solo que garantem estrutura física adequada para a descida do calcário no perfil do solo, como a macroporosidade (Gatiboni et al., 2003; Amaral et al., 2004), bem como ao

tempo de aplicação (Caires et al., 1998; Briedis et al., 2012a). Kaminski et al. (2005) verificaram redução da acidez e do teor de Al^{3+} até 10 cm de profundidade após 7 anos da aplicação superficial de 17 Mg ha^{-1} de calcário em um Argissolo cultivado em PD. Por sua vez, aumento no pH, e nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foi verificado até 10 cm de profundidade após 3 anos da aplicação de $7,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário (Caires & Fonseca, 2000; Alleoni et al., 2005). Weirich Neto et al. (2000) verificaram que o pH do solo e a saturação por bases aumentou e o teor de Al^{3+} reduziu até 10 cm de profundidade após três meses da aplicação superficial de calcário em uma área de campo nativo. Porém, Caires et al. (2008) verificaram aumento do pH do solo e do teor de Ca^{2+} e redução na concentração de Al^{3+} até 60 cm de profundidade, decorridos 3 anos da aplicação superficial de 12 Mg ha^{-1} em um Latossolo Vermelho cultivado em PD por 26 anos.

No entanto, a manutenção do solo em pousio na entressafra pode limitar a descida do calcário no perfil do solo (Castro et al., 2011), devido à baixa estabilidade de agregados e à alta resistência à penetração nas camadas superficiais. Por sua vez, o cultivo de plantas de cobertura de solo pode aumentar a eficiência da calagem superficial (Caires et al., 2006; Caires et al., 2008), decorrente dos benefícios que o alto aporte de resíduos proporciona no solo (Bayer et al., 2009; Santos et al., 2014). A manutenção de bioporos resultantes da fauna e das raízes mortas de culturas antecessoras pode favorecer a movimentação física do calcário aplicado (de Oliveira & Pavan, 1996), juntamente com o movimento descendente da água (Alleoni et al., 2005). Durante a decomposição dos resíduos vegetais ocorre a liberação compostos orgânicos de baixo peso molecular, que podem complexar o Al^{3+} (Amaral et al., 2004; Caires et al., 2006), reduzindo sua atividade no solo. Esses compostos orgânicos também podem aumentar a solubilidade do Ca^{2+} e Mg^{2+} , favorecendo a mobilidade no perfil do solo (Caires et al., 1998). No entanto, o efeito dos resíduos vegetais sobre os componentes da acidez do solo pode depender da quantidade de resíduos adicionados e da qualidade, variando em profundidade.

Amaral et al. (2004) observaram que o efeito dos resíduos vegetais na amenização da acidez do solo foi restrita à camada de 0 a 2,5 cm de profundidade após 5 anos de cultivo PD. Por sua vez, Vieira et al. (2009a)

verificaram que a manutenção de resíduos vegetais em PD aumentou a complexação de elementos fitotóxicos em um solo sem calagem cultivado por 21 anos. Segundo os autores, mesmo com elevada acidez e concentração de Al^{3+} no solo, proporcionados pelo cultivo de leguminosas e uso de adubação nitrogenada, foi possível obter elevado rendimento de grãos de milho. No entanto, apesar da maior qualidade do solo pela manutenção de resíduos vegetais em sistemas sob PD (Vezzani & Mielniczuk, 2009; Reynolds et al., 2014; Souza et al., 2014; Van Eerd et al., 2014), a necessidade da reaplicação de calcário para correção da acidez e fornecimento de nutrientes pode variar de acordo com o tempo do sistema de cultivo (Amaral & Anghinoni, 2001).

O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da reaplicação superficial de calcário sobre o pH do solo, saturação por alumínio e saturação por bases em Argissolo Vermelho Distrófico típico cultivado com diferentes sistemas de cultura e doses de N em PD de longa duração (28 anos).

6.2. MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1. Caracterização e Delineamento Experimental

O estudo foi realizado em um experimento de longa duração iniciado em 1983 na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizado na região ecoclimática da Depressão Central, no município de Eldorado do Sul, RS (30° 51' S, 51° 38' W). O clima é classificado como subtropical úmido, tipo fundamental Cfa (Köppen), com precipitação média anual de 1440 mm, com médias mensais que variam de 95 a 168 mm (Figura 7), e temperatura média anual de 19,4 °C, variando de 9,0 °C no mês mais frio a 25,0 °C no mês mais quente do ano (Bergamaschi & Melo, 2013).

O solo do experimento é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2013), com textura franco argilo-arenosa na camada de 0 – 20 cm, com 540 g kg⁻¹ de areia, 220 g kg⁻¹ de silte e 240 g kg⁻¹ de argila, sendo predominante na fração argila, a caulinita (720 g kg⁻¹) e óxidos de ferro (109 g kg⁻¹ Fe-DCB) (Bayer, 1996).

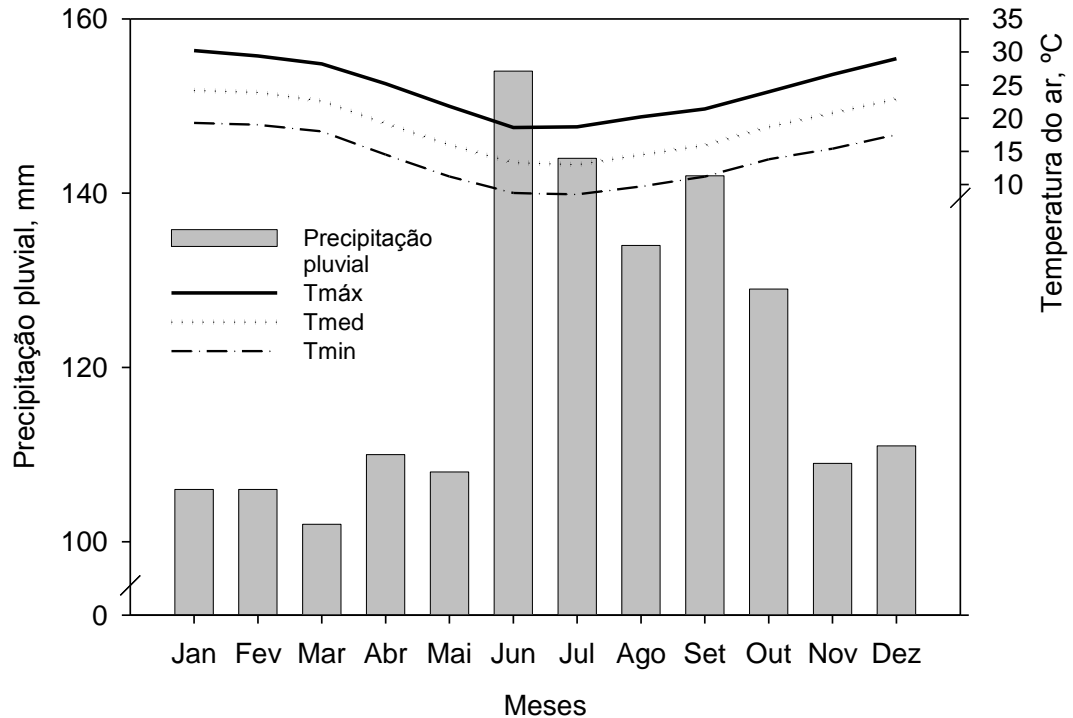


Figura 7. Precipitação e temperatura média mensal da Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande, Eldorado do Sul, RS – BRA (1970 a 2012) (Bergamaschi & Melo, 2013).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições. Nas parcelas principais foram alocados dez sistemas de culturas (16 x 5 m), enquanto que a calagem (8 x 50 m) e adubação nitrogenada (4 x 50 m) foram aplicadas em faixas nos blocos. O experimento é composto por dez sistemas de culturas: aveia (*Avena strigosa* Schreb) + ervilhaca (*Vicia sativa* L.) / milho (*Zea mays* L.) (revolvido), aveia / milho (A/M), aveia + ervilhaca / milho + caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) (AV/MC), lablab (*Lablab purpureus* (L.) Sweet) + milho (LLM), aveia + ervilhaca / milho (AV/M), desmodium (*Desmodium intortum*), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Milsp.) + milho, pousio/milho (P/M), pangola (*Digitaria decumbens* Stent) e solo descoberto. Os sistemas de cultura foram conduzidos sem calagem e com calagem e, sem N e com N (180 kg ha⁻¹), aplicado na forma de ureia. Para o presente estudo foram selecionados apenas os tratamentos A/M, AV/M, AV/MC, LLM e P/M.

6.2.2. Histórico de Uso e Manejo

O experimento de manejo do solo foi instalado em 1983, em uma área que estava sendo cultivada intensamente em sistema convencional (aração e gradagem) por aproximadamente 14 anos, a qual apresentava sinais claros de degradação física do solo, com compactação subsuperficial (Medeiros, 1985). Antes da instalação do experimento foi realizada uma coleta de solo para caracterização química do solo na camada de 0 a 10 cm, a qual apresentou os seguintes resultados: matéria orgânica: 2,3 %; $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$: 5,8; fósforo: $19,0 \text{ mg dm}^{-3}$; potássio: 130 mg dm^{-3} e necessidade de calagem de $0,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ (PRNT de 100 %) (Medeiros, 1985).

Antes da implantação do experimento foi realizada adubação corretiva do solo com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 50 kg ha^{-1} de K_2O , aplicados a lanço e incorporados via gradagem. A partir do segundo ano de cultivo foi realizada adubação de manutenção na linha de semeadura, com a aplicação de 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 50 kg ha^{-1} de K_2O . Anualmente, na cultura do milho foram aplicados 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} de K_2O na linha de semeadura até 1990. A partir de 1990 foi iniciada a aplicação de 20 kg N ha^{-1} em todas as parcelas cultivadas com milho, e a dose de P_2O_5 e K_2O foi aumentada para 80 kg ha^{-1} . Além da adubação de base, anualmente foi realizada adubação de cobertura na cultura do milho, apenas nas parcelas com adubação nitrogenada. Inicialmente, a dose de N-ureia aplicada no primeiro ano foi de 80 kg ha^{-1} e 60 kg ha^{-1} no segundo ano, sendo que, até 1993 a dose de N foi de 120 kg ha^{-1} . A partir de 1994, a dose de N aplicada foi de 180 kg ha^{-1} .

Inicialmente, quando da instalação do experimento, as parcelas principais foram divididas em dois níveis de compactação do solo, sendo metade da parcela descompactada, com aração profunda ($25 \pm 5,0 \text{ cm}$ de profundidade), e, na outra metade, não foi realizada descompactação do solo. A partir de 1997, por não haver diferença no rendimento de grãos entre os tratamentos com e sem descompactação do solo, foi realizada a aplicação de 2 Mg ha^{-1} de calcário (PRNT 45 %) nas parcelas descompactadas, tendo por objetivo avaliar o efeito da calagem sobre a produção de matéria seca e rendimento de grãos das culturas em comparação aos tratamentos sem

descompactação, o qual foi mantido sem calagem. Em 2011, foi reaplicado $4,25 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico (PRNT 100 %), de acordo com a necessidade de calagem para aumentar o pH do solo para 5,5. Para determinar a necessidade de calcário a ser aplicado foram coletadas amostras de solo em todas as parcelas até 20 cm de profundidade, contemplando todos os sistemas de culturas e doses de N, formando uma amostra composta para cada bloco. A necessidade de calcário foi determinada com base na média geral dos tratamentos, com a finalidade de aplicar uma dose única em todos os tratamentos.

6.2.3. Coleta e Análise de Solo

As coletas de solo foram realizadas em setembro de 2011 e 2013. Em 2011, a coleta antecedeu a reaplicação de calcário, a qual teve-se por objetivo avaliar o efeito dos sistemas de cultura sobre a acidez do solo, saturação por Al^{3+} e por bases. Em 2013, dois anos após a calagem, a coleta teve por objetivo avaliar a influência dos sistemas de culturas na eficiência da calagem superficial em PD. Nas duas coletas foram coletadas, aleatoriamente, seis subamostras de solo até 20 cm de profundidade em cada parcela. Após, as subamostras foram separadas em seis camadas: 0 – 2,5; 2,5 – 5,0; 5,0 – 7,5; 7,5 – 10; 10 – 15 e 15 - 20 cm, formando uma amostra composta para cada tratamento por camada de solo. Posteriormente, as amostras foram secas ao ar, moídas e passadas em peneira de 2 mm (TFSA), e armazenadas em sacos plásticos.

As análises de solo foram realizadas em TFSA, sendo que o pH do solo foi determinado em água na proporção 1:1 (solo:água). Os teores de P e K disponíveis foram extraídos com solução Melich-1, sendo que o teor de P foi determinado por fotometria e o teor de K por colorimetria. Para a extração do Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} foi utilizada solução de acetato de amônio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$), e a concentração de Al^{3+} foi determinada por titulação hidróxido de sódio (NaOH), enquanto que, para determinar a concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} foi utilizada espectrometria de absorção atômica. A $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ do solo foi calculada pela soma de cátions básicos trocáveis (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e cátions ácidos (Al^{3+}) (Tedesco et al., 1995). Por sua vez, a $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$ foi calculada pela soma de K^+ ,

Ca^{2+} , Mg^{2+} e $(\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$. A $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ foi utilizada para calcular a saturação por Al^{3+} e a $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$ para calcular a saturação por bases (CQFS-RS/SC, 2004).

O rendimento de grãos de milho foi obtido anualmente, desde o início do experimento, com a coleta de grãos em uma área útil de 5,4 m² em cada parcela. A partir do rendimento obtido nessa área foi estimado o rendimento de grãos por hectare, sendo que o rendimento acumulado de grãos foi calculado pela soma do rendimento obtido em 28 anos de cultivo. A partir do rendimento acumulado de grãos foi estimada a quantidade de nutrientes exportada, utilizando o balanço de nutrientes nas culturas (IPNI, 2015). Além da remoção de bases, foi estimada a alcalinidade exportada via grãos de acordo com valores verificados para a cultura do milho (Avila-Segura et al., 2011).

6.2.4. Análise Estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade, sendo que quando o modelo de distribuição normal de dados não foi verificado os dados foram transformados. Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando Proc Mixed (SAS, 2014), considerando sistemas de cultura, calagem, adubação nitrogenada, camada de solo e ano de coleta como fatores fixos e bloco como fator aleatório. As médias foram estimadas utilizando *LSMeans*, e as diferenças comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância.

6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1. Efeito dos Sistemas de Culturas Sobre os Componentes da Acidez do Solo em Plantio Direto de Longa Duração

Para avaliar o efeito dos sistemas de culturas sobre os componentes da acidez do solo (pH, saturação por Al^{3+} e por bases) foram utilizados resultados das amostras de solo coletadas nos sistemas de cultura cultivados sem e com calagem desde 1997, somente nos tratamentos sem adubação nitrogenada, antes da reaplicação de calcário em 2011.

De modo geral, os sistemas de culturas influenciaram significativamente o pH do solo ($p=0,0486$) e a saturação por Al^{3+} ($p=0,0455$),

porém não influenciaram a saturação por bases ($p= 0,1278$), bem como diferiram entre as camadas de solo ($p< 0,0001$). Além disso, foi verificado efeito significativo da calagem sobre o pH e saturação por Al^{3+} , evidenciando o efeito residual da calagem realizada há 14 anos. Dessa forma, optou-se por separar a avaliação dos sistemas de culturas nos tratamentos com e sem calagem (Figura 8).

Nos sistemas de cultura cultivados sem calagem, o pH do solo foi menor que 5,2 até 20 cm de profundidade, enquanto que, nos tratamentos com reaplicação de calcário, os valores de pH foram até 5,4 nos sistemas P/M, A/M e LLM (Figura 8) na camada de 0 a 2,5 cm, sendo que, abaixo dessa profundidade o pH foi $< 5,0$ em todos os sistemas de cultura. Destaca-se que, nos tratamentos sem calagem, foi verificada diferença significativa entre as médias dos sistemas de cultura em todas as camadas de solo avaliadas, enquanto que, nos tratamentos com calagem as diferenças de pH foram observadas somente até 5 cm de profundidade. (Figura 8). De modo geral, no solo cultivado com os sistemas de P/M e A/M, o pH do solo foi maior que nos sistemas com a inclusão de leguminosas, em todo o perfil do solo. Exceto, o sistema LLM, o qual apresentou comportamento diferenciado dos demais sistemas de cultura, onde o pH do solo foi $> 5,0$ nas camadas superficiais, reduzindo para 4,3 na camada de 15 a 20 cm (Figura 8)

Segundo (Yan et al., 1996), a acidificação do solo pelo cultivo de leguminosas pode ocorrer pela liberação de prótons pelas raízes ao absorver um cátion básico, acumulando ânions orgânicos no tecido vegetal. Além disso, a entrada de N nos sistemas pode contribuir na acidificação do solo, interferindo no ciclo do C e N (Bolan et al., 1991; Burle et al., 1997), pela lixiviação de nitrato e pela exportação de cátions básicos. Vieira et al. (2008) verificaram que, em um solo cultivado por 21 anos sem calagem em PD, os sistemas de cultura com leguminosas, principalmente associados à adubação nitrogenada, acidificaram o solo a taxas anuais de $2,65 \text{ kmol H}^+ \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que, em sistemas apenas com gramíneas a taxa de acidificação foi de $1,07 \text{ kmol H}^+ \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. A maior acidificação do solo foi atribuída às alterações no ciclo do C e N, pela remoção de material alcalino via grãos e à lixiviação de nitrato, que, de certa forma, estão relacionados a elevadas doses de N (Barak et al., 1997).

O aumento superficial do pH no solo cultivado com LLM pode estar associado à contínua deposição e decomposição de material orgânico, liberando ânions orgânicos (Yan et al., 1996), visto a maior alcalinidade acumulada em folhas e ramos (Avila-Segura et al., 2011). O gradiente de pH no perfil do solo cultivado com lablab, pode ser devido à absorção de cátions básicos pelas raízes e liberação de íons H^+ nas camadas de solo mais profundas. Como o lablab apresenta renovação frequente de folhas (Weber, 2008), há maior liberação da alcalinidade presente nas folhas e ramos na superfície do solo, neutralizando a acidez do solo nessa camada, e acúmulo de íons H^+ em subsuperfície.

Outro fator determinante no comportamento dos sistemas de cultura sobre o pH do solo é a magnitude da remoção de bases via grãos pela cultura do milho (Tabela 9). Sistemas de cultura como a A/M e P/M exportam menor quantidade de cátions básicos via grãos (Tabela 9), comparados ao sistema AV/M e AV/MC, acidificando menos o solo. Isso decorre pela menor exportação de alcalinidade, que se dá pelo balanço entre a absorção de cátions inorgânicos, como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , e ânions inorgânicos, como NO_3^- , SO_4^{2-} e $H_2PO_4^-$ (Avila-Segura et al., 2011). Em solos intemperizados, a acidez também se origina pela perda de cátions básicos e nitrato, por lixiviação (Bolan et al., 1991). Entretanto, em sistemas agrícolas essas perdas podem ser intensificadas pelo cultivo e uso de fertilizantes nitrogenados (Vieira et al., 2008), como a ureia e nitrato, os quais podem adicionar ao solo cerca de 2 a 5 $kmol H^+ ha^{-1} ano^{-1}$ (Helyar, 2003).

Com a conversão da alcalinidade gerada e exportada via grãos para equivalente $CaCO_3$, se estimou que, no acumulado dos 28 anos, foram removidos entre 200 a 500 $kg ha^{-1}$ de equivalente $CaCO_3$ somente via grãos (Tabela 9), contribuindo para os baixos valores de pH do solo nos diferentes sistemas de culturas. Considerando que não houve aplicação de calcário, ressalta-se a importância das plantas de cobertura para amenizar os efeitos negativos do baixo pH do solo, bem como na reciclagem de nutrientes no solo.

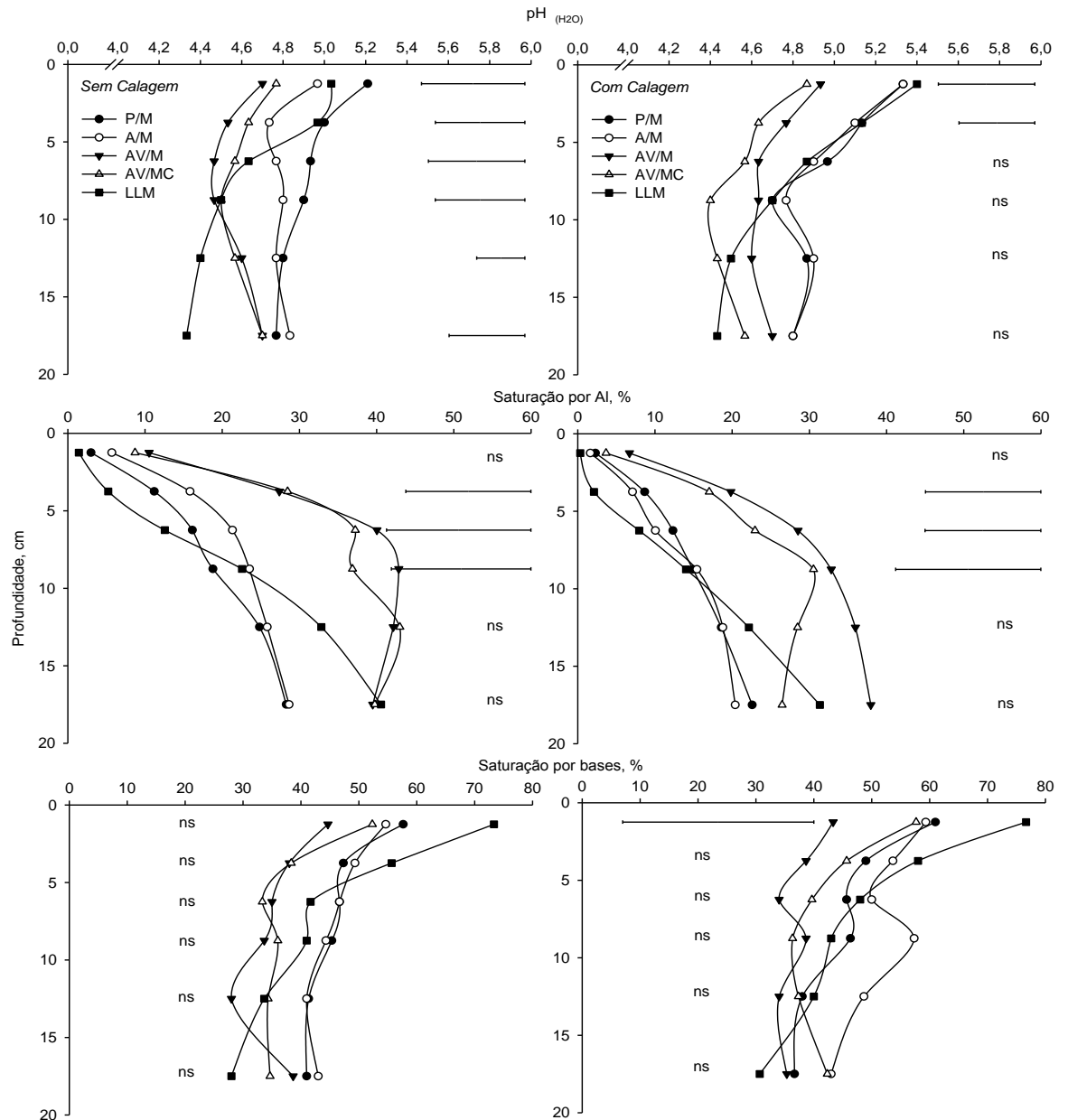


Figura 8. Efeito dos sistemas de culturas sobre os componentes da acidez do solo em PD de longa duração cultivado sem adubação nitrogenada. Barras horizontais indicam diferença mínima significativa. ns: não significativo. P: pousio, A: aveia, M: milho, V: ervilhaca, C: caupi, LL: lablab.

Além de influência sobre o pH do solo, os sistemas de cultura apresentaram importante função sobre a redução do teor de Al^{3+} no solo. O cultivo contínuo e o aporte de material orgânico na superfície do solo reduziram a saturação da CTC_{efetiva} por Al^{3+} , a qual foi <10 % na camada de 0 a 2,5 cm de profundidade em todos os sistemas de cultura (Figura 8), valor este indicado como limite pela CQFS-RS/SC (2004) para que não ocorra limitação à produção de grãos. Na camada de 2,5 a 20 cm, a saturação por Al^{3+} variou de

valores próximos de 10 % até 40 %, nos sistemas AV/M, AV/MC e LLM, enquanto que, nos sistemas P/M e A/M os valores foram <30 % (Figura 8).

Tabela 9. Rendimento, exportação de nutrientes e alcalinidade gerada pela colheita de grãos de milho em diferentes sistemas de cultura cultivados sem adubação nitrogenada durante 28 anos em PD

Sistemas de cultura	Rend	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Alcalinidade	Eq. CaCO ₃
	<i>Mg ha⁻¹</i>	----- <i>kg ha⁻¹</i> -----						<i>Kmol ha⁻¹</i>	<i>Kg ha⁻¹</i>
P/M	49	768	423	280	24	73	53	3,99	199,5
A/M	68*	1076	593	392	34	102	75	5,58	278,8
A/M	68*	1076	593	392	34	102	75	5,58	278,8
AV/M	100	1583	872	577	50	150	110	8,22	411,0
AV/MC	122	1932	1064	704	61	183	135	10,03	501,5
LLM	107	1686	929	615	53	160	117	8,75	437,5

Rend: rendimento acumulado de grãos. * Valores acumulados em 28 anos de cultivo em sistemas de culturas sem adubação nitrogenada e sem calagem. Eq. CaCO₃: 50g CaCO₃ por mol de alcalinidade. A: aveia, M: milho, V: ervilhaca, C: caupi, LL: lablab e P: pousio.

A manutenção da saturação por Al³⁺ abaixo do limite crítico pode estar relacionada com a valores de pH do solo >5,0, no qual predomina o Al na forma não solúvel (Calegari et al., 2013). Entretanto, mesmo em solo com pH menor que 5,0, é possível reduzir a atividade do Al³⁺, que pode ser complexado por ácidos orgânicos de baixo peso molecular liberados na decomposição dos resíduos orgânicos (Amaral et al., 2004; Vieira et al., 2009a). Em sistemas de cultura como A/M e P/M, onde o pH do solo foi maior que 5,0 na camada superficial, a redução da atividade do Al³⁺ ocorre pela redução da solubilidade do íon, enquanto que, em sistemas com leguminosas, predomina a complexação do Al³⁺ por compostos orgânicos, visto os menores valores de pH.

Decorridos 14 anos da aplicação de calcário, foi observado que, nos tratamentos com calagem, a saturação por Al³⁺ foi menor que nos tratamentos sem calagem (Figura 8), indicando que houve efeito residual da calagem sobre a diminuição da concentração do Al³⁺ após esse período. O efeito residual da calagem também foi verificado sobre a saturação da CTC_{pH 7,0} por bases nos diferentes sistemas de cultura, porém apresentou menor influência comparado à saturação por Al³⁺. A saturação por bases variou, predominantemente, entre 30 e 50 % no perfil do solo, porém, na camada de 0 a 2,5 cm de profundidade, a saturação por bases foi >50%, destacando-se o LLM nos tratamentos com e

sem calagem (Figura 8). Esse comportamento pode estar relacionado com o aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial do solo (Zanatta et al., 2007; Mielniczuk, 2008; Vieira et al., 2009b; Souza Nunes et al., 2011), aumentando a CTC do solo, e reciclando nutrientes, os quais são liberados durante a decomposição dos resíduos vegetais (Giacomini et al., 2003a; Giacomini et al., 2003b), aumentando a concentração na superfície do solo.

6.3.2. Efeito da Reaplicação de Calcário Sobre os Indicadores da Acidez do Solo

6.3.2.1. pH do Solo

A reaplicação superficial de calcário aumentou significativamente o pH do solo após dois anos da aplicação, contudo, o efeito foi observado apenas nos 5,0 cm superficiais do solo ($p < 0,0001$). Por sua vez, a redução da acidez do solo variou de acordo com os sistemas de cultura, bem como, com a profundidade do solo ($p = 0,0001$). Nos tratamentos sem adubação nitrogenada, a calagem aumentou o pH do solo até 7,5 cm de profundidade em todos os sistemas de cultura. Porém o aumento foi significativo apenas no sistema AV/M e LLM até 2,5 cm de profundidade, nos quais o pH aumentou para 6,0, em média (Tabela 10), sendo que, na camada de 7,5 a 20 cm o pH do solo foi $< 5,0$.

De modo geral, a aplicação de calcário nos sistemas de cultura com adubação nitrogenada aumentou significativamente o pH do solo até 5,0 cm de profundidade (Tabela 11). Na camada superficial, após dois anos da calagem, os valores de pH aumentaram para valores $\geq 5,5$, sendo que, o menor efeito foi verificado no sistema P/M. No entanto, na camada de 2,5 a 5,0 cm foi verificado aumento significativo do pH nos sistemas A/M, AV/M e LLM, porém os valores foram $< 5,5$. Na camada de 5 a 20 cm de profundidade, em todos os sistemas de cultura foi verificada elevada acidez do solo, sendo verificados valores de entre 4,3 e 4,8 (Tabela 11).

Os resultados desse estudo corroboram com os resultados obtidos por Amaral & Anghinoni (2001), os quais verificaram que a reaplicação superficial de 2,5 Mg ha⁻¹ de calcário em uma área cultivada por 8 anos em PD apresentou efeito sobre o pH do solo até 4 cm após um ano da reaplicação. Os

resultados indicam que o efeito da calagem em profundidade sobre o pH do solo é lenta, demandando reaplicação sistemática em menor período de tempo para manutenção do pH em níveis adequados (CQFS-RS/SC, 2004; Nicolodi et al., 2008a). Como a migração dos efeitos da calagem em profundidade depende de atributos do solo que favorecem a dissolução do calcário (Amaral et al., 2004; Pádua et al., 2006), como a presença de ácidos orgânicos, e o deslocamento dos produtos da dissolução do calcário no perfil do solo, como a macroporosidade (Gatiboni et al., 2003), associada ao regime hídrico, pode-se inferir que os sistemas de cultura que adicionam maior quantidade de resíduos vegetais ao solo, aumentam a eficiência da calagem superficial, como foi verificado no LLM e AV/MC.

Tabela 10. Efeito da reaplicação de calcário sobre os componentes da acidez de um Argissolo Vermelho distrófico cultivado com diferentes sistemas de culturas sem adubação nitrogenada em PD de longa duração

Camada	P/M		A/M		AV/M		AV/MC		LLM	
	2011	2013	2011	2013	2011	2013	2011	2013	2011	2013
<i>pH (H₂O)</i>										
0 - 2,5	5,3A*	5,8A	5,3A*	5,7A	4,9B	5,9A	4,9A	5,4A	5,4B	6,1A
2,5 - 5,0	5,1	5,5	5,1	5,3	4,8	5,4	4,6	5	5,1	5,6
5,0 - 7,5	5	5,1	4,9	5,1	4,6	4,9	4,6	4,8	4,9	5,2
7,5 - 10	4,7	5	4,8	4,9	4,6	4,7	4,4	4,7	4,7	4,8
10 - 15	4,9	4,8	4,9	4,9	4,6	4,7	4,4	4,8	4,5	4,7
15 - 20	4,8	4,8	4,8	4,9	4,7	4,7	4,6	4,9	4,4	4,7
<i>Saturação por Al³⁺, %</i>										
0 - 2,5	2,3Aab	0,1Aa	1,6Aab	0,5Aa	6,7Aa	0,1Ba	3,7Aab	0,8Aa	0,3Ab	0,1Aa
2,5 - 5,0	8,7Aabc	0,7Ba	7,1Abc	0,5Ba	19,8Aa	0,4Ba	17,0Aab	4,7Ba	2,1Ac	0,1Aa
5,0 - 7,5	12,3Aab	3,3Ba	10,1Ab	5,9Aa	28,5Aa	7,4Ba	23,0Aab	16,5Aa	8,0Ab	3,5Ba
7,5 - 10	14,9	7,5	15,4	12	32,8	18,9	30,5	23,8	14	7,9
10 - 15	18,6	13,8	18,8	16,1	36	26,6	29,2	28,5	22,2	16,2
15 - 20	22,6	18,6	20,4	22	38	31,5	26,5	29,8	31,4	23,5
<i>Saturação por Bases, %</i>										
0 - 2,5	61Aab	78Aa	59Bab	84Aa	43Bb	87Aa	58Bab	79Aa	77Aa	87Aa
2,5 - 5,0	49A	66A	54A	74A	39B	77A	46A	67A	58A	77A
5,0 - 7,5	45	60	50	66	34	53	40	53	48	67
7,5 - 10	46	57	57	65	39	46	36	52	43	55
10 - 15	38	50	49	59	34	42	37	45	40	46
15 - 20	37	50	43	52	35	38	42	46	31	39

*Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de significância, sendo que, letras maiúsculas, na linha, comparam anos para cada sistema de cultura e letras minúsculas, na linha, comparam sistemas de culturas para um mesmo ano. A: aveia, M: milho, V: ervilhaca, C: caupi, LL: lablab e P: pousio.

6.3.2.2. Saturação por Alumínio

A reaplicação de calcário superficial foi eficiente na redução da saturação por Al^{3+} nas camadas superficiais do solo em todos os sistemas de cultura e de adubação nitrogenada. Contudo, o efeito da calagem em profundidade foi dependente do sistemas de cultura ($p < 0,05$). Quando os sistemas de cultura foram cultivados sem adubação nitrogenada, a calagem reduziu significativamente a saturação por Al^{3+} até 7, 5 cm de profundidade (Tabela 10), enquanto que, nos tratamentos com N, a redução da saturação limitou-se aos 5 cm superficiais (Tabela 11).

Tabela 11. Efeito da reaplicação de calcário sobre os componentes da acidez de um Argissolo Vermelho distrófico cultivado com diferentes sistemas de cultura com adubação nitrogenada de cobertura em PD de longa duração

Camada cm	P/M		A/M		AV/M		AV/MC		LLM	
	2011	2013	2011	2013	2011	2013	2011	2013	2011	2013
	<i>pH (H₂O)</i>									
0 -2,5	5,1Aa*	5,4Aa	4,7Ba	5,8Aa	4,5Ba	5,6Aa	4,7Ba	5,5Aa	5,1Ba	6,1Aa
2,5 - 5,0	4,8Aa	4,9Aab	4,5Ba	5,2Aab	4,3Ba	5,1Aab	4,5Aa	4,8Ab	4,8Ba	5,5Aa
5,0 - 7,5	4,6	4,7	4,6	4,6	4,3	4,5	4,4	4,5	4,6	4,8
7,5 - 10	4,6	4,7	4,6	4,6	4,3	4,3	4,4	4,5	4,5	4,6
10 - 15	4,7	4,5	4,7	4,5	4,4	4,4	4,5	4,5	4,3	4,5
15 - 20	4,6	4,6	4,7	4,6	4,4	4,5	4,5	4,6	4,2	4,7
	<i>Saturação por Al³⁺, %</i>									
0 -2,5	2,8A	0,0A	4,2A	0,1A	7,4A	0,2A	3,3A	0,4A	0,7A	0,1A
2,5 - 5,0	15,0A	3,7B	15,5A	0,7B	27,5A	2,6B	16,2A	1,5B	6,6A	0,4A
5,0 - 7,5	21,6	19,4	23	10,4	36,8	20,5	23,3	21,7	12,6	2,8
7,5 - 10	23,9	34,9	22,3	21,8	34,5	35,9	28,2	36,5	15	15,2
10 - 15	25,1	39,6	22,5	35,9	38,1	45,1	28,8	45,4	17,9	28,6
15 - 20	35,1	41,5	25,6	38,5	39,1	50,5	27,5	50,6	21	35,3
	<i>Saturação por Bases, %</i>									
0 -2,5	55Bab	82Aa	44Bbc	83Aa	34Bc	83Aa	47Bbc	84Aa	73Aa	86Aa
2,5 - 5,0	40Aab	59Aa	35Bab	69Aa	19Bb	70Aa	30Bab	72Aa	56Ba	82Aa
5,0 - 7,5	33A	43A	29A	49A	16B	53A	27A	35A	42A	68A
7,5 - 10	36	27	24	37	18	34	26	31	42	46
10 - 15	33	30	23	34	18	28	22	32	38	44
15 - 20	37	30	31	27	16	26	21	27	34	39

*Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 % de significância, sendo que, letras maiúsculas, na linha, comparam anos para cada sistema de cultura e letras minúsculas, na linha, comparam sistemas de culturas para um mesmo ano. A: aveia, M: milho, V: ervilhaca, C: caupi, LL: lablab e P: pousio.

Na camada de 0 a 2,5 cm, a saturação por Al^{3+} foi reduzida a valores menores que 1 % em todos os sistemas de cultura após dois anos da aplicação de calcário, independente da adubação nitrogenada (Tabela 10 e Tabela 11). Entretanto, nos sistemas AV/M e LLM sem aplicação de N foi verificada redução significativa da saturação por Al^{3+} até 7,5 cm, enquanto nos demais sistemas, a ação da calagem limitou-se até 5 cm de profundidade (Tabela 10). Porém, não houve diferença significativa entre as médias dos anos na camada de 2,5 a 5,0 cm no sistema LLM, na qual foi observada baixa saturação por Al^{3+} . Os sistemas de cultura cultivados com a adubação nitrogenada não influenciaram o efeito da reaplicação de calcário sobre a saturação por Al^{3+} , nos quais a saturação foi reduzida significativamente para valores $<4,0$ % até 5 cm de profundidade (Tabela 11), independente do sistema de cultura. Na camada de 5 a 20 cm, não foi verificado efeito da calagem sobre a saturação por Al^{3+} , sendo que, a saturação variou de 10 a 40 % (Tabela 11), podendo comprometer o desenvolvimento de plantas (CQFS-RS/SC, 2004; Nicolodi et al., 2008a).

Alguns trabalhos têm demonstrado a importância dos resíduos vegetais na redução do Al trocável em sistemas sob PD (Amaral et al., 2004; Nicolodi et al., 2008b; Vieira et al., 2009a). Durante a decomposição dos resíduos ocorre a liberação de compostos orgânicos de baixo peso molecular que complexam o Al^{3+} , reduzindo a disponibilidade, principalmente nas camadas superficiais do solo. Além disso, os resíduos vegetais podem manter o pH do solo em faixas nas quais o Al^{3+} apresenta baixa solubilidade, sendo importante principalmente em solos tropicais e subtropicais, onde o Al^{3+} é o cátion predominante em, aproximadamente, 32 % dos solos com pH $< 5,6$ (Abreu Jr. et al., 2003).

6.3.2.3. Saturação por Bases

Decorridos dois anos da calagem superficial, foram verificados aumentos significativos da saturação por bases até 5 cm de profundidade quando cultivado sem adubação nitrogenada, e até 7,5 cm quando aplicado N na cultura do milho. De modo geral, o maior aumento da saturação por bases foi verificado na camada de 0 a 2,5 cm, independente do sistema de cultura, com valores maiores que 80 % e, na camada de 2,5 a 5 cm, a saturação por

bases variou de 65 a 80 % na maioria dos sistemas de cultura, independentemente do uso de adubação nitrogenada (Tabela 10 e Tabela 11).

O efeito superficial da calagem sobre a saturação por bases está relacionado principalmente à aplicação superficial, bem como depende da dose de corretivo (Alleoni et al., 2005; Kaminski et al., 2005), aumentando a concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Como o deslocamento dos produtos da calagem no perfil do solo dependem tempo de aplicação (Caires et al., 1998; Briedis et al., 2012a), dos atributos químicos (Amaral et al., 2004) e físicos do solo (Gatiboni et al., 2003). A manifestação dos efeitos da calagem em subsuperfície, aumentando a saturação por bases, pode estar relacionado ao incremento do teor de matéria orgânica do solo (Zanatta et al., 2007; Mielniczuk, 2008; Vieira et al., 2009b; Souza Nunes et al., 2011), influenciando diretamente na CTC do solo e reciclagem de nutrientes (Giacomini et al., 2003a; Giacomini et al., 2003b), além da liberação de ânions orgânicos que podem agir como íons acompanhantes, facilitando a descida de Ca^{2+} e Mg^{2+} no perfil do solo (Pádua et al., 2006).

6.3.2.4. Relação entre Indicadores da Acidez do Solo em Plantio Direto de Longa Duração após Reaplicação Superficial de Calcário

A reaplicação de calcário apresentou grande influência sobre os indicadores da acidez do solo após dois anos da aplicação, alterando a magnitude das relações entre os indicadores de acidez do solo (Figura 9). O aumento do pH do solo nas camadas superficiais após a calagem reduziu exponencialmente a acidez potencial (Figura 9a), concomitantemente aumentou de forma exponencial a $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$ do solo (Figura 9b). Na Figura 9a, se observa que houve segregação da concentração de H^+Al ocorrida antes da calagem (2011) e dois anos após a reaplicação de calcário (2013), as quais foram reduzidas para valores $<3,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, decorrente do aumento do pH para $>5,0$.

A reaplicação de calcário também aumentou a capacidade de retenção de cátions no solo (Figura 9b), principalmente com a elevação do pH acima de 5,5. A redução da acidez potencial pela reaplicação superficial de calcário também refletiu sobre a saturação da CTC por Al^{3+} e por bases (Figura

9c e Figura 9d). A partir da análise conjunta dos dados, se verificou que a saturação por Al^{3+} decresceu exponencialmente com a redução da acidez ativa, se concentrando em valores próximos a zero, quando a acidez potencial foi aproximadamente $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Inversamente, para o mesmo valor de $\text{H}+\text{Al}$, foi verificada maior saturação da $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$ por bases, com valores entre 65 e 85 %.

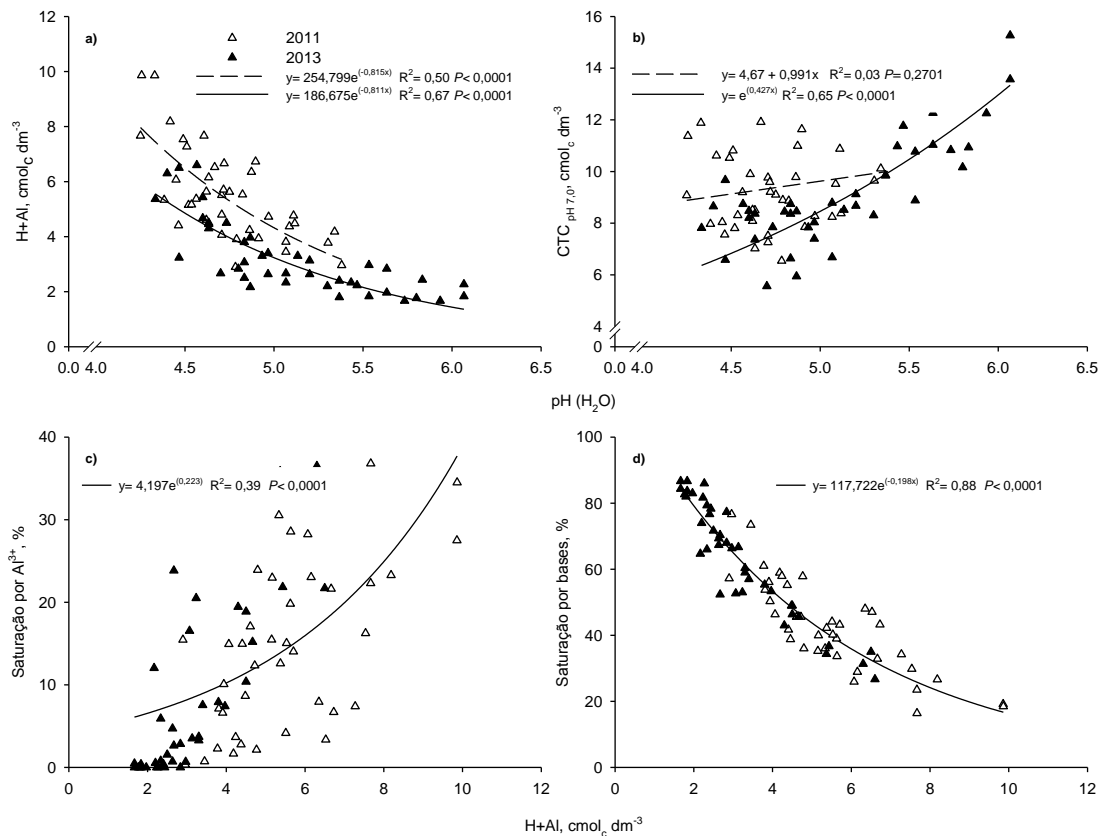


Figura 9. Relação entre os indicadores de acidez do solo após dois anos das reaplicação superficial de calcário em um Argissolo Vermelho Distrófico típico cultivado por 28 anos com diferentes sistemas de culturas e adubação nitrogenada de cobertura em PD.

Nicolodi et al. (2008b) verificaram que o pH do solo apresentou relação direta com a saturação por bases e, inversa com a saturação por Al^{3+} e a acidez potencial do solo independente da profundidade avaliada, 0 a 10 ou 0 a 20 cm de profundidade, em seis Latossolos na região Sul do Brasil cultivados de 5 a 9 anos em PD. Apesar desse estudo ter sido conduzido em um Argissolo, os resultados corroboram os verificados por Nicolodi et al. (2008b). Contudo, a diversificação dos sistemas de cultura, com o consórcio de

gramíneas e leguminosas em PD por longa duração, pode proporcionar maior tamponamento e resiliência do solo aos efeitos negativos da acidez do solo, devido ao aumento da matéria orgânica do solo (Vieira et al., 2009a; Nogueiro et al., 2014). Além disso, pode proporcionar uma melhoria dos sistemas de cultivos como um todo (Vezzani & Mielniczuk, 2009; Palm et al., 2014; Souza et al., 2014), influenciando na magnitude das relações nas diferentes profundidades de solo avaliadas.

6.4. CONCLUSÕES

1. A aplicação superficial de calcário em PD apresenta efeito residual sobre os indicadores da acidez do solo transcorridos 14 anos da calagem.
2. A calagem superficial é eficiente na redução da acidez do solo, da saturação por Al^{3+} e no aumento da saturação por bases na camada de 0 a 2,5 cm de profundidade, independente do sistema de cultura e do uso de adubação nitrogenada. Contudo, em profundidades entre 2,5 a 7,5 cm, a eficiência da calagem é reduzida nos primeiros dois anos após a aplicação, sendo seu efeito dependente do sistema de cultura e da adubação nitrogenada de cobertura.
3. De forma geral, os efeitos da calagem superficial no Argissolo Vermelho Distrófico típico, decorridos dois anos da aplicação, não ultrapassam 7,5 cm de profundidade.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo do solo em PD é fundamental no aumento da fertilidade e na qualidade do solo, independente do ambiente em que o solo é cultivado. O menor revolvimento do solo, associado ao maior aporte de resíduos vegetais, proporciona aumentos nos atributos químicos do solo, como o COS, NT e P que desempenham função essencial do desenvolvimento de plantas. Apesar do cultivo de leguminosas como plantas de cobertura apresentar comportamento variável no solo, essas contribuem no aporte de resíduos vegetais de melhor qualidade, aumentando os teores de C no solo, bem como as frações lábeis. Essa contribuição é evidente no solo temperado, que, apesar da inclusão da soja não influenciar o teor de COS, a cultura contribuiu com o aumento do C orgânico particulado, que apresenta maior sensibilidade aos impactos das práticas de manejo do solo. A adubação nitrogenada de cobertura contribui, principalmente, no aumento do aporte de resíduos vegetais, porém, no solo, está mais associada à diminuição do pH e da disponibilidade de nutrientes. No entanto, esse efeito negativo é superado pelos benefícios que decorrem do maior aporte de resíduos. Além disso, a calagem superficial permite corrigir a acidez do solo, aumentando a concentração de nutrientes, principalmente nas camadas superficiais, que, devido à lenta descida no perfil do solo, requer reaplicação sistemática, mesmo em sistemas de longa duração.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU JR., C.H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A.F. Relationship between acidity and chemical properties of brazilian soils. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 337-343, 2003.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.

ALBURQUERQUE, M.A., et al. Carbon and nitrogen in a Ferralsol under zero-tillage rotations based on cover, cash or hay crops. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 31, n. 1, p. 1-9, 2015.

ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; CAIRES, E.F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 923-934, 2005.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 115-123, 2004.

AMARAL, A.S.D.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 695-702, 2001.

ANDREWS, S.S.; KARLEN, D.L.; CAMBARDELLA, C.A. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, n. 6, p. 1945-1962, 2004.

AVILA-SEGURA, M., et al. Nutrient and alkalinity removal by corn grain, stover and cob harvest in Upper Midwest USA. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, n. 3, p. 1190-1195, 2011.

AZIZ, I.; MAHMOOD, T.; ISLAM, K.R. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 131, p. 28-35, 2013.

BARAK, P., et al. Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin. **Plant and Soil**, The Hague, v. 197, n. 1, p. 61-69, 1997.

BATISTA, M.F., et al. Aluminum in corn plants: influence on growth and morpho-anatomy of root and leaf. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 177-187, 2013.

BAYER, C. **Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas**. 1992. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1992.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 257 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1996.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 105-112, 1997.

BAYER, C., et al. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 238, n. 1, p. 133-140, 2002.

BAYER, C., et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n. 1-2, p. 101-109, 2000.

BAYER, C., et al. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 5, p. 1473-1478, 2001.

BAYER, C., et al. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, n. 1, p. 217-226, 2006a.

BAYER, C., et al. Tillage effects on particulate and mineral-associated organic matter in two tropical brazilian soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 37, n. 3-4, p. 389-400, 2006b.

BAYER, C., et al. C and N stocks and the role of molecular recalcitrance and organomineral interaction in stabilizing soil organic matter in a subtropical Acrisol managed under no-tillage. **Geoderma**, Amsterdam, v. 133, n. 3-4, p. 258-268, 2006c.

BAYER, C., et al. Cover crop effects increasing carbon storage in a subtropical no-till sandy Acrisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 40, n. 9-10, p. 1499-1511, 2009.

BERGAMASCHI, H.; MELO, R.W.D. **Boletim agrometeorológico da estação experimental agrônômica da UFRGS: 1970-2012**. Porto Alegre. UFRGS. 2013.

BERGAMASCHI, H., et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre. UFRGS. 2003. 77 p.

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1–2, p. 240-254, 2007.

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. No-tillage and soil-profile carbon sequestration: An on-farm assessment. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, n. 3, p. 693-701, 2008.

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Crop residue management and soil carbon dynamics. In: LAL, R.; FOLLETT, R. F., Ed. **Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect**, vol. 2, Madison: Soil Science Society of America. 2009. p.291-309.

BLANCO-CANQUI, H.; SCHLEGEL, A.J. Implications of inorganic fertilization of irrigated corn on soil properties: Lessons learned after 50 years. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 42, n. 3, p. 861-871, 2013.

BLANCO-CANQUI, H., et al. Replacing fallow with cover crops in a semiarid soil: Effects on soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 77, n. 3, p. 1026-1034, 2013.

BLANCO-CANQUI, H., et al. Does inorganic nitrogen fertilization improve soil aggregation? Insights from two long-term tillage experiments. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 43, n. 3, p. 995-1003, 2014a.

BLANCO-CANQUI, H., et al. Can cover crop and manure maintain soil properties after stover removal from irrigated no-till corn? **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 78, n. 4, p. 1368-1377, 2014b.

BOLAN, N.S.; HEDLEY, M.J.; WHITE, R.E. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. **Plant and Soil**, The Hague, v. 134, n. 1, p. 53-63, 1991.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Interpretação de resultados analíticos de fósforo pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2751-2756, 2008.

BRAVO, C.A., et al. Long-term influence of conservation tillage on chemical properties of surface horizon and legume crops yield in a vertisol of southern Spain. **Soil Science**, Washington, v. 172, n. 2, p. 141-148, 2007.

BRIEDIS, C., et al. Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 7, p. 1007-1014, 2012a.

BRIEDIS, C., et al. Particulate soil organic carbon and stratification ratio increases in response to crop residue decomposition under no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1483-1490, 2012b.

BUNDY, L.G., et al. Long-term continuous corn and nitrogen fertilizer effects on productivity and soil properties. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, n. 5, p. 1346-1351, 2011.

BURLE, M.L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. **Plant and Soil**, The Hague, v. 190, n. 2, p. 309-316, 1997.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 213-220, 2000.

CAIRES, E.F., et al. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E.F., et al. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 87-98, 2006.

CAIRES, E.F., et al. Soil acidity and aluminium toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 24, n. 3, p. 302-309, 2008.

CALEGARI, A., et al. Long-term effect of different soil management systems and winter crops on soil acidity and vertical distribution of nutrients in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 133, n. 32-39, 2013.

CAMBARDELLA, C., et al. Estimation of particulate and total organic matter by weight loss-on-ignition. In: LAL, R., et al., Ed. **Advances in Soil Science: Assessment methods for soil carbon**, Boca Raton, FL: Lewis Publ. 2001. p.349-359.

CAMPOS, B.-H.C., et al. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 805-817, 2011a.

CAMPOS, B.-H.C.D., et al. Long-term C-CO₂ emissions and carbon crop residue mineralization in an oxisol under different tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 819-832, 2011b.

CARDOSO, E.G., et al. Nitrogen dynamics in soil management systems: II - mineralization and nitrification rates. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1651-1660, 2011.

- CASTRO, G.S.A.; CALONEGO, J.C.; CRUSCIOL, C.A.C. Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 12, p. 1690-1698, 2011.
- CHUNG, H.; GROVE, J.H.; SIX, J. Indications for soil carbon saturation in a temperate agroecosystem **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, n. 4, p. 1132-1139, 2008.
- CONCEIÇÃO, P.C., et al. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 5, p. 794-800, 2014.
- CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - Núcleo Regional Sul. 2004. 400 p.
- DE BONA, F.D. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional**. 2005. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.
- DE OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, n. 1-2, p. 47-57, 1996.
- DERPSCH, R. Historical review of no-tillage cultivation of crops. In: FAO International Workshop, Conservation Tillage for Sustainable Agriculture, 1998. Rome, 1998. p.205-218.
- DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T. Development and current status of no-till adoption in the world. In: Triennial Conference of the International Soil Tillage Research Organisation (ISTRO), 18. 2009. **Proceedings**, 2009.
- DERPSCH, R., et al. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, Roseville, v. 3, n. 1, p. 1-24, 2010.
- DÍAZ-ZORITA, M.; GROVE, J.H. Duration of tillage management affects carbon and phosphorus stratification in phosphatic Paleudalfs. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 66, n. 2, p. 165-174, 2002.
- DIMASSI, B., et al. Long-term effect of contrasted tillage and crop management on soil carbon dynamics during 41 years. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 188, p. 134-146, 2014.
- DUIKER, S.W.; BEEGLE, D.B. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 88, n. 1-2, p. 30-41, 2006.

ELLERT, B.H.; BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília, DF. Embrapa. 2013. 353 p.

FEBRAPDP. **Federação brasileira de plantio direto na palha - Evolução da área de plantio direto no Brasil**. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.jpg>. Acesso em: Março 2014. 2012.

FERREIRA, A.D.O., et al. Soil carbon stratification affected by long-term tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 133, n. 65-74, 2013.

FERREIRA, A.O., et al. Relação de estratificação como indicador do sequestro de carbono em macroagregados de Latossolo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 4, p. 645-652, 2012.

FIGUEIREDO, C.C., et al. Stratification ratio of organic matter pools influenced by management systems in a weathered Oxisol from a tropical agro-ecoregion in Brazil. **Soil Research**, Melbourne, v. 51, n. 2, p. 133-141, 2013.

FINK, J.R., et al. Mineralogy and phosphorus adsorption in soils of south and central-west Brazil under conventional and no-tillage systems. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 36, n. 3, p. 379-387, 2014.

FRANZLUEBBERS, A. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 66, n. 2, p. 197-205, 2002a.

FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 66, n. 2, p. 95-106, 2002b.

FRANZLUEBBERS, A.J. Achieving soil organic carbon sequestration with conservation agricultural systems in the Southeastern United States. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, n. 2, p. 347-357, 2010.

FRANZLUEBBERS, A.J.; STUEDEMANN, J.A. Temporal dynamics of total and particulate organic carbon and nitrogen in cover crop grazed cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 78, n. 4, p. 1404-1413, 2014.

FROSSARD, E., et al. Processes governing phosphorus availability in temperate soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 29, n. 1, p. 15-23, 2000.

GATIBONI, L.C., et al. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 283-290, 2003.

GIACOMINI, S.J., et al. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1097-1104, 2003a.

GIACOMINI, S.J., et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003b.

HAYNES, R.J. Effects of liming on phosphate availability in acid soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 68, n. 3, p. 289-308, 1982.

HAYNES, R.J.; GOH, K.M. Some observations on surface soil pH, base saturation and leaching of cations under three contrasting orchard soil management practices. **Plant and Soil**, The Hague, v. 56, n. 3, p. 429-438, 1980.

HELYAR, K. Manejo da acidez do solo a curto e a longo prazos. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 104, p. 1-12, 2003.

IPNI. **Balanco de Nutrientes nas Culturas**. Disponível em: <<http://brasil.ipni.net/article/BRS-3293>>. Acesso em: Março 2015. 2015.

JAGADAMMA, S., et al. Nitrogen fertilization and cropping systems effects on soil organic carbon and total nitrogen pools under chisel-plow tillage in Illinois. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1-2, p. 348-356, 2007.

JANI, A., et al. Influence of soil inorganic nitrogen and root diameter size on legume cover crop root decomposition and nitrogen release. **Plant and Soil**, The Hague, v. 390, n. 1, p. 1-12, 2015.

KAMINSKI, J., et al. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 573-580, 2005.

KARLEN, D.L., et al. Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 133, p. 54-64, 2013a.

KARLEN, D.L., et al. Thirty-year tillage effects on crop yield and soil fertility indicators. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 130, p. 24-41, 2013b.

KASSAM, A., et al. The spread of Conservation Agriculture: justification, sustainability and uptake. **International Journal of Agricultural Sustainability**, Colchester, v. 7, n. 4, p. 292-320, 2009.

KUMAR, S., et al. Long-term no-till impacts on organic carbon and properties of two contrasting soils and corn yields in Ohio. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 76, n. 5, p. 1798-1809, 2012.

LOLLATO, R.P.; EDWARDS, J.T.; ZHANG, H. Effect of alternative soil acidity amelioration strategies on soil pH distribution and wheat agronomic response. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 77, n. 5, p. 1831-1841, 2013.

LOU, Y., et al. Stratification of soil organic C, N and C:N ratio as affected by conservation tillage in two maize fields of China. **CATENA**, Amsterdam, v. 95, p. 124-130, 2012.

LOVATO, T., et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 175-187, 2004.

MARTELLOTTO, A. **The impact of long-term tillage, crop rotation and nitrogen application on soil carbon sequestration**. 2010. 82 f. Thesis (Master Degree) - Agronomy and Horticulture, University of Nebraska, Lincoln. 2010.

MARTINS, A.P., et al. Soil acidification and basic cation use efficiency in an integrated no-till crop–livestock system under different grazing intensities. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 195, p. 18-28, 2014.

MCDANIEL, M.D., et al. Crop rotation complexity regulates the decomposition of high and low quality residues. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 78, p. 243-254, 2014.

MEDEIROS, J.C. **Sistemas de culturas adaptadas a produtividade, recuperação e conservação de solo**. 1985. 99 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1985.

MELERO, S., et al. Stratification ratios in a rainfed Mediterranean Vertisol in wheat under different tillage, rotation and N fertilisation rates. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 119, p. 7-12, 2012.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. D. A.; CAMARGO, F. A. D. O., Ed. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**, vol. 2, Porto Alegre: Gênese. 2008. p.1-5.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: SPARKS, D. L., et al., Ed. **Methods of soil analysis Part 3 — Chemical methods**, vol. 5, Madison: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy. 1996. p.961-1010.

NEUGSCHWANDTNER, R., et al. Soil chemical properties as affected by tillage and crop rotation in a long-term field experiment. **Plant, Soil and Environment**, Prague, v. 60, n. 2, p. 57-62, 2014.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Indicadores da acidez do solo para recomendação de calagem no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 237-247, 2008a.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Relações entre os tipos e indicadores de acidez do solo em lavouras no sistema plantio direto na região do Planalto do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1217-1226, 2008b.

NOGUEIROL, R.C., et al. Effect of no-tillage and amendments on carbon lability in tropical soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 143, p. 67-76, 2014.

NORA, D.D.; AMADO, T.J.C. Improvement in chemical attributes of Oxisol subsoil and crop yields under no-till. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, n. 5, p. 1393-1403, 2013.

OGLE, S.; BREIDT, F.J.; PAUSTIAN, K. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 72, n. 1, p. 87-121, 2005.

PÁDUA, T.R.P.D.; SILVA, C.A.; MELO, L.C.A. Calagem em latossolo sob influência de coberturas vegetais: neutralização da acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 869-878, 2006.

PALM, C., et al. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 187, p. 87-105, 2014.

PARADELO, R.; VIRTO, I.; CHENU, C. Net effect of liming on soil organic carbon stocks: A review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 202, p. 98-107, 2015.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 33-38, 1984.

PIKUL, J.L., et al. Particulate organic matter and water-stable aggregation of soil under contrasting management **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, n. 3, p. 766-776, 2007.

PIKUL, J.L., et al. Organic matter and water stability of field aggregates affected by tillage in South Dakota. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, n. 1, p. 197-206, 2009.

POEPLAU, C.; DON, A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 200, p. 33-41, 2015.

RABBI, S.M.F., et al. Soil organic carbon mineralization rates in aggregates under contrasting land uses. **Geoderma**, Amsterdam, v. 216, p. 10-18, 2014.

RAMNARINE, R., et al. Conventional and no-tillage effects on the distribution of crop residues and light fraction organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 79, n. 1, p. 74-80, 2015.

REYNOLDS, W.D., et al. Impacts of 48 years of consistent cropping, fertilization and land management on the physical quality of a clay loam soil. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 94, n. 3, p. 403-419, 2014.

RHEINHEIMER, D.S., et al. Changes in chemical attributes of sandy soil under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 4, p. 713-721, 1998.

SÁ, J.C.D.M.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 1, p. 46-56, 2009.

SÁ, J.C.M., et al. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 136, p. 38-50, 2014.

SANTOS, I.L., et al. Cover plants and mineral nitrogen: effects on organic matter fractions in an oxisol under no-tillage in the cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 1874-1881, 2014.

SAS. **SAS Institute Procedures**. Disponível em: <<http://support.sas.com/index.html>>. Acesso em: Maio 2014. 2014.

SCHJØNNING, P.; THOMSEN, I.K. Shallow tillage effects on soil properties for temperate-region hard-setting soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 132, p. 12-20, 2013.

SCOPEL, E., et al. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Les Ulis, v. 33, n. 1, p. 113-130, 2013.

SHAPIRO, C.A., et al. **Fertilizers suggestion for corn**. Disponível em: <<http://www.ianrpubs.unl.edu/epublic/live/ec117/build/ec117.pdf>>. Acesso em: Novembro 2014. 2008.

SHARIFI, M., et al. Mineralization of carbon-14-labeled plant residues in conventional tillage and no-till systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 77, n. 1, p. 123-132, 2013.

SISTI, C.P.J., et al. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SIX, J., et al. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. **Agronomie**, Paris, v. 22, n. 7-8, p. 755-775, 2002.

SOUZA, E.D., et al. Soil quality indicators in a Rhodic Paleudult under long term tillage systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 139, p. 28-36, 2014.

SOUZA NUNES, R.D., et al. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1407-1419, 2011.

TEDESCO, M.J., et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre. UFRGS. 1995. 174 p.

THOMPSON, M.L., et al. Contribution of organic matter to cation exchange capacity and specific surface area of fractionated soil materials. **Soil Science**, Washington, v. 148, n. 4, p. 250-257, 1989.

TIECHER, T.; DOS SANTOS, D.R.; CALEGARI, A. Soil organic phosphorus forms under different soil management systems and winter crops, in a long term experiment. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 124, n. 57-67, 2012a.

TIECHER, T., et al. Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 271-282, 2012b.

TISSI, J.A.; CAIRES, E.F.; PAULETTI, V. Efeitos da calagem em semedura direta de milho. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 405-413, 2004.

TORMENA, C.A., et al. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1023-1031, 2004.

USDA-ERS. **United States Department of Agriculture - Economic Research Service - Major Land Uses**. Disponível em: <<http://www.ers.usda.gov/data-products/major-land-uses.aspx#25964>>. Acesso em: Março 2014. 2014.

USDA-NRCS. **United States Department of Agriculture - Soil Survey Division. Official Soil Series Descriptions**. Disponível em: <https://soilseries.sc.egov.usda.gov/OSD_Docs/C/COLERIDGE.html>. Acesso em: Março 2014. 2006.

VAN EERD, L.L., et al. Long-term tillage and crop rotation effects on soil quality, organic carbon, and total nitrogen. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 94, n. 3, p. 303-315, 2014.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

VIEIRA, F.C.B., et al. Organic matter kept Al toxicity low in a subtropical no-tillage soil under long-term (21-year) legume-based crop systems and N fertilisation. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 47, n. 7, p. 707-714, 2009a.

VIEIRA, F.C.B., et al. Long-term acidification of a Brazilian Acrisol as affected by no till cropping systems and nitrogen fertilizer. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 46, n. 1, p. 17-26, 2008.

VIEIRA, F.C.B., et al. Building up organic matter in a Subtropical Paleudult under legume cover-crop-based rotations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, n. 5, p. 1699-1706, 2009b.

WARD, R.C. **Ward Guide**. Disponível em: <http://www.wardlab.com/WardInfo/WardGuide.pdf>. Acesso em: Maio 2014. 2014.

WEBER, M.A. **Leguminosas e os estoques de carbono e nitrogênio do solo em experimentos de longa duração**. 2008. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2008.

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

WEST, T.O.; SIX, J. Considering the influence of sequestration duration and carbon saturation on estimates of soil carbon capacity. **Climatic Change**, Cambridge, v. 80, n. 1-2, p. 25-41, 2007.

YAN, F.; SCHUBERT, S.; MENGEL, K. Soil pH changes during legume growth and application of plant material. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 23, n. 3, p. 236-242, 1996.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolo sob plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 487-495, 2007.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Liming and ionic speciation of an Oxisol under no-till system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 2, p. 190-203, 2008.

ZANATTA, J.A. **Estoque e labilidade do carbono em frações da matéria orgânica de um Argissolo afetados por sistemas de manejo do solo**. 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2006.

ZANATTA, J.A., et al. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 510-519, 2007.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 28-40, 2005.

9. APÊNDICES

Apêndice 1. Atributos químicos do solo de clima subtropical, na região Sul do Brasil após 26 anos de cultivo utilizados no Estudo I

Preparo de Solo	Sistema de Cultura	Dose de N	Camada	Rep	COS	NT	pH	P	K	V
		Mg ha ⁻¹	cm							
PC	A/M	0	0-10	1	10,22	0,90	5,2	16	136	51,8
PC	A/M	0	0-10	2	9,50	0,84	5,1	22	118	38,6
PC	A/M	0	0-10	3	9,36	0,87	5,3	20	112	60,3
PC	A/M	0	10-20	1	9,59	0,83	5,2	7,8	89	50,3
PC	A/M	0	10-20	2	8,81	0,79	5,0	18	94	33,5
PC	A/M	0	10-20	3	8,79	0,77	5,2	8,2	64	58,9
PC	A/M	180	0-10	1	11,44	1,09	4,8	13	121	33,5
PC	A/M	180	0-10	2	10,90	0,84	4,3	12	75	31,3
PC	A/M	180	0-10	3	10,38	0,86	4,2	12	74	32,1
PC	A/M	180	10-20	1	13,18	1,22	4,8	14	87	36,3
PC	A/M	180	10-20	2	9,26	0,75	4,5	9,1	40	38,8
PC	A/M	180	10-20	3	9,28	0,77	4,4	7,7	35	45,0
PC	V/M	0	0-10	1	10,85	0,95	4,9	8,9	106	40,5
PC	V/M	0	0-10	2	10,78	1,25	4,7	8,9	106	36,3
PC	V/M	0	0-10	3	9,73	0,91	5,0	9,7	97	49,7
PC	V/M	0	10-20	1	10,65	0,91	4,8	7	78	37,1
PC	V/M	0	10-20	2	9,41	0,90	4,7	8,1	48	28,7
PC	V/M	0	10-20	3	9,34	0,84	5,1	14	47	48,0
PC	V/M	180	0-10	1	9,84	0,91	4,6	7,6	57	23,1
PC	V/M	180	0-10	2	10,06	0,82	4,3	13	84	23,0
PC	V/M	180	0-10	3	12,21	1,21	4,2	11	84	22,3
PC	V/M	180	10-20	1	10,64	1,02	4,5	8,3	126	20,1
PC	V/M	180	10-20	2	9,57	0,87	4,3	9,1	53	26,1
PC	V/M	180	10-20	3	10,75	0,89	4,2	6,6	36	23,9
PC	AV/MC	0	0-10	1	13,20	1,18	4,8	9,5	132	43,1
PC	AV/MC	0	0-10	2	11,69	1,10	4,7	11,4	99	26,1
PC	AV/MC	0	0-10	3	10,02	0,97	4,9	7,7	98	49,9
PC	AV/MC	0	10-20	1	10,12	0,87	4,7	5,9	58	30,1
PC	AV/MC	0	10-20	2	10,34	0,96	4,6	5,8	46	21,4
PC	AV/MC	0	10-20	3	9,98	0,85	5,0	7,9	50	51,5
PC	AV/MC	180	0-10	1	13,00	1,22	4,6	11	116	29,4
PC	AV/MC	180	0-10	2	11,53	0,93	4,4	9,9	79	27,4
PC	AV/MC	180	0-10	3	9,91	0,87	4,3	8,5	95	46,2
PC	AV/MC	180	10-20	1	9,96	0,92	4,6	6,3	49	26,5
PC	AV/MC	180	10-20	2	10,27	0,90	4,4	7	48	24,7
PC	AV/MC	180	10-20	3	9,76	0,87	4,4	6,7	49	41,9
PD	A/M	0	0-10	1	11,12	1,07	4,7	52,0	153	60,8
PD	A/M	0	0-10	2	12,22	1,15	5,2	48,8	148	59,9
PD	A/M	0	0-10	3	11,03	1,11	5,0	39,8	114	52,0
PD	A/M	0	10-20	1	8,16	0,71	4,7	46,0	98	54,5
PD	A/M	0	10-20	2	10,27	0,96	5,2	33,5	115	51,5
PD	A/M	0	10-20	3	8,98	0,58	5,0	16,5	73	40,8
PD	A/M	180	0-10	1	11,62	1,11	4,9	18,3	85	46,7
PD	A/M	180	0-10	2	13,16	1,12	4,9	20,4	66	52,3
PD	A/M	180	0-10	3	11,26	0,93	4,4	21,1	67	42,6
PD	A/M	180	10-20	1	7,76	0,73	4,9	8,0	59	45,2
PD	A/M	180	10-20	2	8,67	0,72	4,4	11,4	35	51,0
PD	A/M	180	10-20	3	8,24	0,67	4,8	8,9	35	50,9

Continua...

Continuação...

Preparo de Solo	Sistema de Cultura	Dose de N	Camada	Rep	COS	NT	pH	P	K	V
		kg ha ⁻¹	cm		----- g kg ⁻¹ -----			---- mg kg ⁻¹ ---		%
PD	V/M	0	0-10	1	12,50	1,23	4,7	37,8	135	34,9
PD	V/M	0	0-10	2	11,08	1,08	4,8	23,5	109	38,9
PD	V/M	0	0-10	3	12,99	1,27	4,8	23,8	82	45,8
PD	V/M	0	10-20	1	7,84	0,74	4,5	13,5	74	34,5
PD	V/M	0	10-20	2	9,36	0,83	4,4	12,1	66	30,6
PD	V/M	0	10-20	3	8,24	0,74	4,9	18,5	41	46,8
PD	V/M	180	0-10	1	13,75	1,34	5,4	13,5	100	21,0
PD	V/M	180	0-10	2	13,22	1,48	4,2	13,6	49	33,0
PD	V/M	180	0-10	3	13,40	1,12	4,0	21,0	74	25,7
PD	V/M	180	10-20	1	7,95	0,80	5,6	6,9	62	24,9
PD	V/M	180	10-20	2	9,16	0,94	4,3	9,4	30	33,4
PD	V/M	180	10-20	3	10,77	0,89	4,3	15,0	62	42,1
PD	AV/MC	0	0-10	1	15,82	1,49	4,8	19,3	174	43,1
PD	AV/MC	0	0-10	2	15,73	1,52	4,8	27,3	112	52,0
PD	AV/MC	0	0-10	3	17,38	1,71	4,5	24,5	105	37,8
PD	AV/MC	0	10-20	1	8,68	0,83	4,7	19,0	119	31,4
PD	AV/MC	0	10-20	2	9,09	0,86	4,6	9,6	63	40,1
PD	AV/MC	0	10-20	3	9,95	0,82	4,1	18,5	57	23,9
PD	AV/MC	180	0-10	1	15,42	1,53	5,7	12,2	101	31,4
PD	AV/MC	180	0-10	2	15,18	1,37	4,8	19,0	86	37,6
PD	AV/MC	180	0-10	3	15,15	1,29	4,4	13,9	74	32,2
PD	AV/MC	180	10-20	1	8,39	0,84	5,2	7,6	74	31,1
PD	AV/MC	180	10-20	2	8,81	0,73	4,7	8,4	54	32,5
PD	AV/MC	180	10-20	3	8,92	0,71	4,1	5,7	40	34,1

PC: preparo convencional, PD: plantio direto. A: aveia, M: milho, V: ervilhaca, C: caupi. Rep: repetição. COS: carbono orgânico do solo, NT: nitrogênio total. P: fósforo disponível. K: potássio disponível. V: saturação por bases.

Apêndice 2. Atributos químicos do solo de clima temperado, na região Meio-Oeste dos EUA após 28 anos de cultivo utilizados no Estudo I

Preparo de Solo	Rotação de Cultura	Dose de N	Camada	Rep	COS	NT	pH	P	K	V
		kg ha ⁻¹	cm		----g kg ⁻¹ ----			---mg kg ⁻¹ ---		%
PC	M	0	0-10	1	20,1	1,9	6,2	33	357	93
PC	M	0	0-10	2	19,6	1,9	6,5	51	476	93
PC	M	0	0-10	3	20,3	1,9	5,3	45	558	67
PC	M	0	0-10	4	23,1	2,2	5,8	39	319	93
PC	M	0	10-20	1	19,9	1,9	6,1	32	345	88
PC	M	0	10-20	2	19,2	1,9	6,4	55	468	96
PC	M	0	10-20	3	20,8	1,9	5,6	60	549	70
PC	M	0	10-20	4	23,5	2,2	5,9	40	336	86
PC	M	80	0-10	1	21,3	2,0	5,7	26	315	85
PC	M	80	0-10	2	19,3	1,8	5,8	34	467	88
PC	M	80	0-10	3	21,0	2,0	4,8	78	377	65
PC	M	80	0-10	4	22,2	2,1	6,4	49	305	97
PC	M	80	10-20	1	21,3	2,1	5,7	25	337	87
PC	M	80	10-20	2	19,6	1,8	5,6	35	464	88
PC	M	80	10-20	3	21,7	2,1	4,9	39	461	63
PC	M	80	10-20	4	21,8	2,0	6,4	47	295	91
PC	M	160	0-10	1	21,5	2,1	5,3	17	254	75
PC	M	160	0-10	2	20,1	2,0	5,4	29	399	83
PC	M	160	0-10	3	19,6	1,8	5,4	42	445	76
PC	M	160	0-10	4	23,9	2,2	6,2	54	443	95
PC	M	160	10-20	1	21,9	2,1	5,2	20	285	81
PC	M	160	10-20	2	20,3	2,0	5,3	28	382	81
PC	M	160	10-20	3	20,2	1,9	5,6	53	445	71
PC	M	160	10-20	4	20,8	2,3	6,2	56	441	88
PC	MS	0	0-10	1	23,7	2,4	6,4	74	551	94
PC	MS	0	0-10	2	18,1	1,7	7,1	105	644	99
PC	MS	0	0-10	3	20,4	2,0	5,4	26	211	68
PC	MS	0	0-10	4	23,6	2,2	6,8	37	249	100
PC	MS	0	10-20	1	23,7	2,4	6,3	75	537	92
PC	MS	0	10-20	2	18,1	1,7	7,1	112	667	99
PC	MS	0	10-20	3	20,5	2,0	5,4	26	253	72
PC	MS	0	10-20	4	24,6	2,3	6,8	36	284	100
PC	MS	80	0-10	1	23,7	2,3	6,2	84	608	90
PC	MS	80	0-10	2	19,8	1,9	5,8	36	512	79
PC	MS	80	0-10	3	20,7	1,9	5,3	30	215	63
PC	MS	80	0-10	4	22,5	2,1	6,5	31	293	98
PC	MS	80	10-20	1	24,4	2,5	6,1	85	667	92
PC	MS	80	10-20	2	19,9	1,9	5,6	34	426	82
PC	MS	80	10-20	3	21,1	2,0	5,2	31	258	70
PC	MS	80	10-20	4	23,6	2,3	6,6	27	306	100
PC	MS	160	0-10	1	24,0	2,5	5,9	84	554	87
PC	MS	160	0-10	2	20,8	2,0	5,9	74	806	83
PC	MS	160	0-10	3	20,9	2,0	4,9	39	228	62
PC	MS	160	0-10	4	22,9	2,1	5,7	38	277	87
PC	MS	160	10-20	1	24,4	2,5	5,8	82	596	90
PC	MS	160	10-20	2	20,7	2,0	5,6	75	848	83
PC	MS	160	10-20	3	21,2	2,0	4,7	37	219	54
PC	MS	160	10-20	4	23,5	2,2	5,5	30	278	81
PD	M	0	0-10	1	27,6	2,7	6,0	123	598	88

Continua...

Continuação...

Preparo de Solo	Rotação de Cultura	Dose de N	Camada	Rep	COS	NT	pH	P	K	V
		kg ha ⁻¹	cm		---g kg ⁻¹ ----			---mg kg ⁻¹ ---		%
PD	M	0	0-10	2	26,0	2,7	5,7	93	368	83
PD	M	0	0-10	3	26,6	2,5	6,2	69	345	93
PD	M	0	0-10	4	23,7	2,3	5,9	99	300	90
PD	M	0	10-20	1	19,8	2,1	6,0	81	392	88
PD	M	0	10-20	2	21,8	2,4	5,7	30	252	82
PD	M	0	10-20	3	23,8	2,2	6,2	7	185	93
PD	M	0	10-20	4	23,4	2,2	5,5	15	181	83
PD	M	80	0-10	1	24,4	2,4	5,5	117	546	91
PD	M	80	0-10	2	27,6	2,7	4,7	109	354	80
PD	M	80	0-10	3	25,8	2,4	4,8	99	241	85
PD	M	80	0-10	4	24,8	2,4	5,0	105	268	90
PD	M	80	10-20	1	19,4	2,1	6,1	55	302	88
PD	M	80	10-20	2	21,3	2,2	5,5	17	251	82
PD	M	80	10-20	3	22,8	2,2	5,4	7	230	86
PD	M	80	10-20	4	23,8	2,4	5,6	12	184	80
PD	M	160	0-10	1	26,5	2,6	4,9	122	489	92
PD	M	160	0-10	2	27,2	2,7	4,6	98	357	83
PD	M	160	0-10	3	24,8	2,4	4,4	126	255	90
PD	M	160	0-10	4	27,2	2,5	4,4	84	299	82
PD	M	160	10-20	1	19,5	2,0	5,9	53	303	88
PD	M	160	10-20	2	19,9	2,1	5,5	17	281	87
PD	M	160	10-20	3	23,5	2,3	5,3	10	188	92
PD	M	160	10-20	4	22,3	2,2	4,8	15	210	76
PD	MS	0	0-10	1	26,7	2,5	6,7	118	698	74
PD	MS	0	0-10	2	29,7	3,0	6,2	64	417	55
PD	MS	0	0-10	3	25,9	2,6	5,5	58	285	61
PD	MS	0	0-10	4	22,9	2,2	6,5	68	264	67
PD	MS	0	10-20	1	21,9	2,2	6,6	114	639	74
PD	MS	0	10-20	2	23,8	2,4	5,6	15	214	55
PD	MS	0	10-20	3	22,3	2,3	5,1	13	195	59
PD	MS	0	10-20	4	22,0	2,1	6,5	16	175	64
PD	MS	80	0-10	1	24,6	2,4	5,6	116	539	83
PD	MS	80	0-10	2	26,9	2,6	5,2	49	281	63
PD	MS	80	0-10	3	28,7	2,8	5,1	76	235	59
PD	MS	80	0-10	4	24,8	2,4	5,9	70	276	68
PD	MS	80	10-20	1	20,7	2,1	6,1	82	227	87
PD	MS	80	10-20	2	22,0	2,2	5,4	12	199	75
PD	MS	80	10-20	3	24,0	2,5	5,5	10	191	64
PD	MS	80	10-20	4	21,0	2,1	6,4	13	202	72
PD	MS	160	0-10	1	26,1	2,6	5,1	140	540	91
PD	MS	160	0-10	2	29,7	3,1	4,7	72	366	82
PD	MS	160	0-10	3	28,7	2,9	4,6	99	308	77
PD	MS	160	0-10	4	21,6	2,2	5,3	79	251	85
PD	MS	160	10-20	1	20,3	2,1	5,8	83	420	87
PD	MS	160	10-20	2	23,2	2,5	5,0	12	220	83
PD	MS	160	10-20	3	23,9	2,4	5,3	8	192	86
PD	MS	160	10-20	4	21,2	2,1	6,1	13	200	82

PC: preparo convencional, PD: plantio direto. M: milho, S: soja. Rep: repetição. COS: carbono orgânico do solo, NT: nitrogênio total. P: fósforo disponível. K: potássio disponível. V: saturação por bases.

Apêndice 3. Atributos do solo de clima subtropical, na região Sul do Brasil, após 26 anos de cultivo utilizados no Estudo II

Sistema de Preparo	Sistema de Cultura	Dose de N	Camada	Rep	Dens	SOC	COP	E COS	E COP	IL
		kg ha ⁻¹	cm		Mg dm ⁻³	----g kg ⁻¹ ----		---Mg ha ⁻¹ ---		
PC	A/M	0	0-10	1	1,61	10,2	1,5	16,4	2,4	0,15
PC	A/M	0	0-10	2	1,57	9,5	2,3	14,9	3,5	0,24
PC	A/M	0	0-10	3	1,56	9,4	2,1	14,6	3,3	0,22
PC	A/M	0	10-20	1	1,74	9,6	1,0	16,7	1,7	0,10
PC	A/M	0	10-20	2	1,74	8,8	1,6	15,3	2,8	0,18
PC	A/M	0	10-20	3	1,72	8,8	1,2	15,1	2,1	0,14
PC	A/M	180	0-10	1	1,61	11,4	2,6	18,4	4,2	0,23
PC	A/M	180	0-10	2	1,57	10,9	2,7	17,1	4,2	0,25
PC	A/M	180	0-10	3	1,56	10,4	2,1	16,2	3,3	0,20
PC	A/M	180	10-20	1	1,74	13,2	1,6	22,9	2,8	0,12
PC	A/M	180	10-20	2	1,74	9,3	1,9	16,1	3,3	0,20
PC	A/M	180	10-20	3	1,72	9,3	1,6	16,0	2,8	0,17
PC	AV/MC	0	0-10	1	1,54	13,2	4,8	21,2	7,7	0,36
PC	AV/MC	0	0-10	2	1,54	11,7	2,4	18,3	3,7	0,20
PC	AV/MC	0	0-10	3	1,60	10,0	3,3	15,6	5,2	0,33
PC	AV/MC	0	10-20	1	1,63	10,1	2,1	17,6	3,6	0,20
PC	AV/MC	0	10-20	2	1,69	10,3	2,9	18,0	5,0	0,28
PC	AV/MC	0	10-20	3	1,72	10,0	2,1	17,2	3,7	0,21
PC	AV/MC	180	0-10	1	1,54	13,0	2,0	20,9	3,2	0,15
PC	AV/MC	180	0-10	2	1,54	11,5	3,6	18,1	5,7	0,31
PC	AV/MC	180	0-10	3	1,60	9,9	2,9	15,5	4,5	0,29
PC	AV/MC	180	10-20	1	1,63	10,0	3,9	17,3	6,8	0,39
PC	AV/MC	180	10-20	2	1,69	10,3	1,6	17,9	2,7	0,15
PC	AV/MC	180	10-20	3	1,72	9,8	1,3	16,8	2,2	0,13
PC	V/M	0	0-10	1	1,58	10,9	3,7	17,4	5,9	0,34
PC	V/M	0	0-10	2	1,59	10,8	2,9	16,9	4,6	0,27
PC	V/M	0	0-10	3	1,52	9,7	2,4	15,2	3,8	0,25
PC	V/M	0	10-20	1	1,73	10,7	2,4	18,5	4,2	0,23
PC	V/M	0	10-20	2	1,75	9,4	1,8	16,4	3,2	0,19
PC	V/M	0	10-20	3	1,65	9,3	1,1	16,1	1,9	0,12
PC	V/M	180	0-10	1	1,58	9,8	3,4	15,8	5,5	0,35
PC	V/M	180	0-10	2	1,59	10,1	2,9	15,8	4,5	0,29
PC	V/M	180	0-10	3	1,52	12,2	3,3	19,0	5,1	0,27
PC	V/M	180	10-20	1	1,73	10,6	4,2	18,5	7,3	0,40
PC	V/M	180	10-20	2	1,75	9,6	1,6	16,7	2,8	0,17
PC	V/M	180	10-20	3	1,65	10,7	1,4	18,5	2,4	0,13
PD	A/M	0	0-10	1	1,51	11,1	4,4	17,9	7,1	0,40
PD	A/M	0	0-10	2	1,57	12,2	3,7	19,1	5,8	0,30
PD	A/M	0	0-10	3	1,50	11,0	3,2	17,2	5,0	0,29
PD	A/M	0	10-20	1	1,65	8,2	1,8	14,2	3,2	0,22
PD	A/M	0	10-20	2	1,74	10,3	1,7	17,9	3,0	0,17
PD	A/M	0	10-20	3	1,66	9,0	1,1	15,4	1,9	0,13
PD	A/M	180	0-10	1	1,51	11,6	2,5	18,7	4,1	0,22
PD	A/M	180	0-10	2	1,57	13,2	4,5	20,6	7,0	0,34
PD	A/M	180	0-10	3	1,50	11,3	2,4	17,6	3,7	0,21
PD	A/M	180	10-20	1	1,65	7,8	1,6	13,5	2,8	0,21
PD	A/M	180	10-20	2	1,74	8,7	0,8	15,1	1,4	0,09
PD	A/M	180	10-20	3	1,66	8,2	1,0	14,2	1,7	0,12

Continua...

Continuação...

Sistema de Preparo	Sistema de Cultura	Dose de N	Camada	Rep	Dens	SOC	COP	E COS	E COP	IL
		kg ha ⁻¹	cm		Mg dm ⁻³	---g kg ⁻¹ ----		---Mg ha ⁻¹ ---		
PD	AV/MC	0	0-10	1	1,43	15,8	6,8	25,4	10,9	0,43
PD	AV/MC	0	0-10	2	1,31	15,7	6,5	24,6	10,2	0,41
PD	AV/MC	0	0-10	3	1,37	17,4	4,4	27,1	6,8	0,25
PD	AV/MC	0	10-20	1	1,65	8,7	1,1	15,1	1,9	0,13
PD	AV/MC	0	10-20	2	1,65	9,1	1,6	15,8	2,8	0,18
PD	AV/MC	0	10-20	3	1,63	9,9	0,9	17,1	1,6	0,09
PD	AV/MC	180	0-10	1	1,43	15,4	2,7	24,8	4,4	0,18
PD	AV/MC	180	0-10	2	1,31	15,2	5,0	23,8	7,8	0,33
PD	AV/MC	180	0-10	3	1,37	15,1	2,6	23,6	4,0	0,17
PD	AV/MC	180	10-20	1	1,65	8,4	1,6	14,6	2,7	0,19
PD	AV/MC	180	10-20	2	1,65	8,8	1,2	15,3	2,1	0,14
PD	AV/MC	180	10-20	3	1,63	8,9	0,9	15,4	1,5	0,10
PD	V/M	0	0-10	1	1,42	12,5	2,4	20,1	3,8	0,19
PD	V/M	0	0-10	2	1,45	11,1	3,9	17,4	6,0	0,35
PD	V/M	0	0-10	3	1,39	13,0	5,4	20,3	8,5	0,42
PD	V/M	0	10-20	1	1,55	7,8	0,8	13,6	1,3	0,10
PD	V/M	0	10-20	2	1,67	9,4	1,4	16,3	2,4	0,15
PD	V/M	0	10-20	3	1,66	8,2	0,9	14,2	1,5	0,11
PD	V/M	180	0-10	1	1,42	13,8	5,6	22,1	9,0	0,41
PD	V/M	180	0-10	2	1,45	13,2	2,3	20,7	3,6	0,17
PD	V/M	180	0-10	3	1,39	13,4	2,9	20,9	4,5	0,21
PD	V/M	180	10-20	1	1,55	7,9	1,9	13,8	3,2	0,23
PD	V/M	180	10-20	2	1,67	9,2	1,1	15,9	1,9	0,12
PD	V/M	180	10-20	3	1,66	10,8	1,2	18,5	2,1	0,11

PC: preparo convencional, PD: plantio direto. A: aveia, M: milho, V: ervilhaca, C: caupi. Dens: densidade do solo. COS: carbono orgânico do solo. COP: carbono orgânico particulado. E: estoque. IL: índice de labilidade.

Apêndice 4. Atributos do solo de clima temperado, na região Meio-Oeste dos EUA após 28 anos de cultivo utilizados no Estudo II

Preparo de Solo	Rotação Cultura	Dose de N	Camada	Rep	Dens	COS	COP	E COS	E COP	IL
		kg ha ⁻¹	cm		Mg dm ⁻³	--- g kg ⁻¹ ---		--- Mg ka ⁻¹ ---		
PC	M	0	0-10	1	1,16	20,1	4,4	23,4	5,1	0,22
PC	M	0	0-10	2	1,16	19,6	4,7	22,8	5,5	0,24
PC	M	0	0-10	3	1,16	20,3	5,2	23,6	6,0	0,25
PC	M	0	0-10	4	1,16	23,1	6,3	26,8	7,3	0,27
PC	M	0	10-20	1	1,34	19,9	5,2	26,7	7,0	0,26
PC	M	0	10-20	2	1,34	19,2	5,3	25,7	7,1	0,28
PC	M	0	10-20	3	1,34	20,8	6,2	27,8	8,4	0,30
PC	M	0	10-20	4	1,34	23,5	7,3	31,5	9,7	0,31
PC	M	80	0-10	1	1,16	21,3	5,9	24,7	6,8	0,28
PC	M	80	0-10	2	1,16	19,3	5,4	22,4	6,3	0,28
PC	M	80	0-10	3	1,16	21,0	6,1	24,4	7,1	0,29
PC	M	80	0-10	4	1,16	22,2	5,9	25,8	6,9	0,27
PC	M	80	10-20	1	1,34	21,3	5,1	28,6	6,8	0,24
PC	M	80	10-20	2	1,34	19,6	7,2	26,3	9,6	0,37
PC	M	80	10-20	3	1,34	21,7	8,2	29,1	10,9	0,38
PC	M	80	10-20	4	1,34	21,8	6,3	29,2	8,4	0,29
PC	M	160	0-10	1	1,14	21,5	6,0	25,0	7,0	0,28
PC	M	160	0-10	2	1,14	20,1	6,1	23,3	7,0	0,30
PC	M	160	0-10	3	1,14	19,6	5,2	22,7	6,0	0,26
PC	M	160	0-10	4	1,14	23,9	7,0	27,7	8,1	0,29
PC	M	160	10-20	1	1,33	21,9	8,8	29,3	11,8	0,40
PC	M	160	10-20	2	1,33	20,3	6,4	27,3	8,6	0,32
PC	M	160	10-20	3	1,33	20,2	8,7	27,0	11,6	0,43
PC	M	160	10-20	4	1,33	20,8	8,7	27,9	11,6	0,42
PC	M	0	0-10	1	1,16	23,7	9,5	27,5	11,1	0,40
PC	MS	0	0-10	2	1,16	18,1	7,3	21,0	8,5	0,40
PC	MS	0	0-10	3	1,16	20,4	6,4	23,7	7,5	0,32
PC	MS	0	0-10	4	1,16	23,6	10,2	27,4	11,8	0,43
PC	MS	0	10-20	1	1,35	23,7	5,2	31,7	7,0	0,22
PC	MS	0	10-20	2	1,35	18,1	5,6	24,2	7,5	0,31
PC	MS	0	10-20	3	1,35	20,5	5,4	27,5	7,2	0,26
PC	MS	0	10-20	4	1,35	24,6	7,6	33,0	10,2	0,31
PC	MS	80	0-10	1	1,15	23,7	10,8	27,5	12,6	0,46
PC	MS	80	0-10	2	1,15	19,8	7,3	23,0	8,4	0,37
PC	MS	80	0-10	3	1,15	20,7	8,5	24,0	9,8	0,41
PC	MS	80	0-10	4	1,15	22,5	9,0	26,1	10,4	0,40
PC	MS	80	10-20	1	1,34	24,4	6,6	32,6	8,8	0,27
PC	MS	80	10-20	2	1,34	19,9	5,6	26,7	7,4	0,28
PC	MS	80	10-20	3	1,34	21,1	6,8	28,3	9,1	0,32
PC	MS	80	10-20	4	1,34	23,6	6,4	31,7	8,5	0,27
PC	MS	160	0-10	1	1,14	24,0	7,0	27,8	8,1	0,29
PC	MS	160	0-10	2	1,14	20,8	8,1	24,1	9,3	0,39
PC	MS	160	0-10	3	1,14	20,9	6,1	24,2	7,0	0,29
PC	MS	160	0-10	4	1,14	22,9	6,2	26,6	7,2	0,27
PC	MS	160	10-20	1	1,34	24,4	6,6	32,7	8,9	0,27
PC	MS	160	10-20	2	1,34	20,7	6,8	27,7	9,2	0,33
PC	MS	160	10-20	3	1,34	21,2	6,8	28,5	9,1	0,32
PC	MS	160	10-20	4	1,34	23,5	6,0	31,4	8,1	0,26

Continua...

Continuação...

Preparo de Solo	Rotação Cultura	Dose de N	Camada	Rep	Dens	COS	COP	E COS	E COP	IL
		kg ha ⁻¹	cm		Mg dm ⁻³	---- g kg ⁻¹ ----		--- Mg ka ⁻¹ ---		
PD	M	0	0-10	1	1,14	27,6	10,6	32,1	12,3	0,38
PD	M	0	0-10	2	1,14	26,0	7,9	30,1	9,1	0,30
PD	M	0	0-10	3	1,14	26,6	7,5	30,9	8,8	0,28
PD	M	0	0-10	4	1,14	23,7	6,8	27,5	7,9	0,29
PD	M	0	10-20	1	1,35	19,8	3,9	26,5	5,2	0,20
PD	M	0	10-20	2	1,35	21,8	3,1	29,2	4,2	0,14
PD	M	0	10-20	3	1,35	23,8	5,7	31,9	7,7	0,24
PD	M	0	10-20	4	1,35	23,4	4,6	31,3	6,2	0,20
PD	M	80	0-10	1	1,13	24,4	9,4	28,3	10,9	0,38
PD	M	80	0-10	2	1,13	27,6	10,0	32,0	11,6	0,36
PD	M	80	0-10	3	1,13	25,8	8,3	29,9	9,7	0,32
PD	M	80	0-10	4	1,13	24,8	10,5	28,8	12,2	0,42
PD	M	80	10-20	1	1,35	19,4	4,5	26,0	6,0	0,23
PD	M	80	10-20	2	1,35	21,3	4,9	28,6	6,6	0,23
PD	M	80	10-20	3	1,35	22,8	6,9	30,6	9,3	0,30
PD	M	80	10-20	4	1,35	23,8	5,9	31,9	7,9	0,25
PD	M	160	0-10	1	1,11	26,5	8,7	30,8	10,0	0,33
PD	M	160	0-10	2	1,11	27,2	11,1	31,5	12,9	0,41
PD	M	160	0-10	3	1,11	24,8	9,4	28,7	10,9	0,38
PD	M	160	0-10	4	1,11	27,2	6,5	31,5	7,5	0,24
PD	M	160	10-20	1	1,34	19,5	5,4	26,1	7,2	0,28
PD	M	160	10-20	2	1,34	19,9	4,6	26,7	6,2	0,23
PD	M	160	10-20	3	1,34	23,5	6,8	31,4	9,1	0,29
PD	M	160	10-20	4	1,34	22,3	5,1	29,8	6,8	0,23
PD	MS	0	0-10	1	1,13	26,7	14,3	31,0	16,6	0,54
PD	MS	0	0-10	2	1,13	29,7	12,2	34,4	14,2	0,41
PD	MS	0	0-10	3	1,13	25,9	9,5	30,1	11,0	0,37
PD	MS	0	0-10	4	1,13	22,9	11,8	26,5	13,7	0,52
PD	MS	0	10-20	1	1,35	21,9	5,0	29,3	6,7	0,23
PD	MS	0	10-20	2	1,35	23,8	4,4	31,9	5,9	0,19
PD	MS	0	10-20	3	1,35	22,3	4,9	29,9	6,6	0,22
PD	MS	0	10-20	4	1,35	22,0	6,0	29,5	8,0	0,27
PD	MS	80	0-10	1	1,12	24,6	16,5	28,6	19,1	0,67
PD	MS	80	0-10	2	1,12	26,9	15,6	31,2	18,1	0,58
PD	MS	80	0-10	3	1,12	28,7	12,4	33,3	14,3	0,43
PD	MS	80	0-10	4	1,12	24,8	15,1	28,7	17,6	0,61
PD	MS	80	10-20	1	1,35	20,7	3,4	27,7	4,6	0,17
PD	MS	80	10-20	2	1,35	22,0	7,1	29,5	9,5	0,32
PD	MS	80	10-20	3	1,35	24,0	5,6	32,2	7,5	0,23
PD	MS	80	10-20	4	1,35	21,0	7,0	28,1	9,4	0,33
PD	MS	160	0-10	1	1,10	26,1	11,6	25,1	13,4	0,44
PD	MS	160	0-10	2	1,10	29,7	19,6	34,5	22,7	0,66
PD	MS	160	0-10	3	1,10	28,7	16,3	33,3	18,9	0,57
PD	MS	160	0-10	4	1,10	21,6	11,6	25,1	13,4	0,54
PD	MS	160	10-20	1	1,34	20,3	4,8	27,2	6,5	0,24
PD	MS	160	10-20	2	1,34	23,2	7,8	31,0	10,4	0,34
PD	MS	160	10-20	3	1,34	23,9	5,5	32,0	7,4	0,23
PD	MS	160	10-20	4	1,34	21,2	6,0	28,4	8,1	0,28

PC: preparo convencional, PD: plantio direto. M: milho, S: soja. Rep: repetição. Dens: densidade do solo. COS: carbono orgânico do solo. COP: carbono orgânico particulado. E: estoque. IL: índice de labilidade.

Apêndice 5. Atributos químico do Argissolo Vermelho Distrófico típico utilizados no Estudo III

Ano	Culturas	Calagem	N	Camada	Bloco	pH	H+Al	CTCef	CTC7	m	V
			kg ha ⁻¹	cm		1:1	-----	cmol _c dm ⁻³ -----		-----	% ---
2011	A/M	Com	0	0-2,5	1	5,3	3,4	6,1	9,4	1,6	64
2011	A/M	Com	0	0-2,5	2	5,4	3,8	6,5	10,2	1,5	63
2011	A/M	Com	0	0-2,5	3	5,3	5,3	5,6	10,8	1,8	51
2011	A/M	Com	0	2,5-5	1	5,0	4,0	5,0	8,7	6,0	54
2011	A/M	Com	0	2,5-5	2	5,2	3,3	5,1	8,0	5,9	59
2011	A/M	Com	0	2,5-5	3	5,1	4,1	4,3	8,0	9,4	48
2011	A/M	Com	0	5-7,5	1	4,8	4,4	4,8	8,7	8,4	50
2011	A/M	Com	0	5-7,5	2	5,0	2,8	4,2	6,6	9,5	57
2011	A/M	Com	0	5-7,5	3	4,9	4,6	4,1	8,2	12,3	43
2011	A/M	Com	0	7,5-10	1	4,5	4,1	4,3	7,8	13,8	48
2011	A/M	Com	0	7,5-10	2	5,0	3,0	4,3	6,8	11,6	56
2011	A/M	Com	0	7,5-10	3	4,8	1,6	4,3	5,0	20,9	68
2011	A/M	Com	0	10-15	1	4,7	3,6	4,5	7,4	15,5	51
2011	A/M	Com	0	10-15	2	5,1	2,8	4,2	6,4	14,5	56
2011	A/M	Com	0	10-15	3	4,9	4,8	4,2	7,9	26,4	39
2011	A/M	Com	0	15-20	1	4,7	5,2	4,3	8,8	16,4	40
2011	A/M	Com	0	15-20	2	4,9	3,8	4,4	7,5	16,1	49
2011	A/M	Com	0	15-20	3	4,8	4,5	4,2	7,5	28,7	40
2011	AV/M	Com	0	0-2,5	1	5,0	9,2	5,7	14,8	3,5	38
2011	AV/M	Com	0	0-2,5	2	5,0	6,8	5,3	11,9	3,8	43
2011	AV/M	Com	0	0-2,5	3	4,8	4,2	4,7	8,3	12,8	49
2011	AV/M	Com	0	2,5-5	1	4,7	6,1	4,8	10,4	10,5	41
2011	AV/M	Com	0	2,5-5	2	4,8	7,2	4,1	10,4	19,7	31
2011	AV/M	Com	0	2,5-5	3	4,8	3,6	4,1	6,5	29,3	44
2011	AV/M	Com	0	5-7,5	1	4,6	6,1	4,3	9,6	18,4	37
2011	AV/M	Com	0	5-7,5	2	4,6	5,7	3,7	8,3	29,5	32
2011	AV/M	Com	0	5-7,5	3	4,7	5,1	4,0	7,6	37,7	33
2011	AV/M	Com	0	7,5-10	1	4,6	6,6	4,1	9,8	21,7	33
2011	AV/M	Com	0	7,5-10	2	4,6	4,6	3,5	6,9	34,3	33
2011	AV/M	Com	0	7,5-10	3	4,7	2,1	3,8	4,3	42,5	50
2011	AV/M	Com	0	10-15	1	4,6	5,8	4,2	8,9	26,2	35
2011	AV/M	Com	0	10-15	2	4,6	4,7	3,8	7,1	36,8	34
2011	AV/M	Com	0	10-15	3	4,6	4,9	4,5	7,3	44,9	33
2011	AV/M	Com	0	15-20	1	4,9	5,8	4,4	9,1	25,2	36
2011	AV/M	Com	0	15-20	2	4,7	5,6	4,1	8,1	39,1	31
2011	AV/M	Com	0	15-20	3	4,5	3,7	4,6	6,0	49,6	39
2011	AV/MC	Com	0	0-2,5	1	4,8	6,3	5,1	11,1	5,9	43
2011	AV/MC	Com	0	0-2,5	2	5,1	3,9	6,5	10,3	1,5	62
2011	AV/MC	Com	0	0-2,5	3	4,7	2,5	5,6	7,9	3,6	68
2011	AV/MC	Com	0	2,5-5	1	4,5	7,2	3,8	10,0	23,9	29
2011	AV/MC	Com	0	2,5-5	2	4,9	4,3	4,3	8,0	11,7	47
2011	AV/MC	Com	0	2,5-5	3	4,5	2,4	4,5	6,2	15,5	61
2011	AV/MC	Com	0	5-7,5	1	4,5	8,0	3,8	10,9	26,0	26
2011	AV/MC	Com	0	5-7,5	2	4,9	4,1	4,2	7,7	14,4	46
2011	AV/MC	Com	0	5-7,5	3	4,3	3,4	4,2	6,4	28,5	47
2011	AV/MC	Com	0	7,5-10	1	4,4	8,7	3,3	10,7	39,3	19
2011	AV/MC	Com	0	7,5-10	2	4,8	3,6	3,9	6,7	20,3	47
2011	AV/MC	Com	0	7,5-10	3	4,0	3,7	4,1	6,5	32,0	43
2011	AV/MC	Com	0	10-15	1	4,4	8,6	3,3	10,6	39,4	19
2011	AV/MC	Com	0	10-15	2	4,9	3,6	4,3	7,3	13,9	51

Continua...

Continuação...

Ano	Culturas	Calagem	N	Camada	Bloco	pH	H+Al	CTCef	CTC7	m	V
			kg ha ⁻¹	cm		1:1	-----	cmolc dm ⁻³	-----	-----	%
2011	AV/MC	Com	0	10-15	3	4,0	3,8	4,0	6,6	32,1	42
2011	AV/MC	Com	0	15-20	1	4,5	9,6	3,8	11,9	39,5	19
2011	AV/MC	Com	0	15-20	2	5,0	3,8	4,3	7,8	7,0	51
2011	AV/MC	Com	0	15-20	3	4,2	2,1	4,3	5,0	32,9	57
2011	LLM	Com	0	0-2,5	1	5,6	4,1	8,3	12,4	0,0	67
2011	LLM	Com	0	0-2,5	2	5,5	3,4	10,1	13,4	1,0	74
2011	LLM	Com	0	0-2,5	3	5,1	1,3	10,4	11,7	0,0	89
2011	LLM	Com	0	2,5-5	1	5,2	7,4	5,8	13,1	1,7	44
2011	LLM	Com	0	2,5-5	2	5,2	4,2	6,4	10,4	3,1	60
2011	LLM	Com	0	2,5-5	3	5,0	2,7	6,5	9,2	1,5	70
2011	LLM	Com	0	5-7,5	1	5,0	12,1	5,2	16,9	7,8	28
2011	LLM	Com	0	5-7,5	2	5,0	4,5	5,0	9,2	6,0	51
2011	LLM	Com	0	5-7,5	3	4,6	2,4	5,0	6,9	10,1	65
2011	LLM	Com	0	7,5-10	1	4,8	9,1	4,6	13,2	10,9	31
2011	LLM	Com	0	7,5-10	2	4,9	5,0	4,5	8,9	11,2	44
2011	LLM	Com	0	7,5-10	3	4,4	3,1	4,5	6,7	20,0	54
2011	LLM	Com	0	10-15	1	4,7	5,6	4,3	9,1	16,4	39
2011	LLM	Com	0	10-15	2	4,7	4,4	4,4	7,9	20,7	44
2011	LLM	Com	0	10-15	3	4,1	5,0	4,1	7,9	29,4	37
2011	LLM	Com	0	15-20	1	4,7	12,1	4,6	15,6	23,9	22
2011	LLM	Com	0	15-20	2	4,5	5,3	4,3	8,3	30,2	36
2011	LLM	Com	0	15-20	3	4,1	4,6	4,0	7,0	40,0	34
2011	P/M	Com	0	0-2,5	1	5,3	4,7	5,6	10,1	3,6	53
2011	P/M	Com	0	0-2,5	2	5,4	3,2	6,0	9,0	1,7	65
2011	P/M	Com	0	0-2,5	3	5,3	3,4	6,4	9,8	1,6	65
2011	P/M	Com	0	2,5-5	1	5,1	7,3	4,0	10,9	10,1	33
2011	P/M	Com	0	2,5-5	2	5,2	2,9	4,4	6,9	9,1	58
2011	P/M	Com	0	2,5-5	3	5,1	3,2	4,4	7,3	6,8	56
2011	P/M	Com	0	5-7,5	1	4,9	7,8	3,9	11,2	12,7	31
2011	P/M	Com	0	5-7,5	2	5,0	3,0	4,1	6,6	14,5	54
2011	P/M	Com	0	5-7,5	3	5,0	3,4	4,1	7,1	9,8	52
2011	P/M	Com	0	7,5-10	1	4,8	5,2	3,8	8,6	13,1	39
2011	P/M	Com	0	7,5-10	2	5,0	3,5	3,8	6,6	18,4	47
2011	P/M	Com	0	7,5-10	3	4,3	3,4	4,5	7,4	13,3	53
2011	P/M	Com	0	10-15	1	4,8	8,9	4,1	12,2	19,6	27
2011	P/M	Com	0	10-15	2	4,8	5,2	4,3	8,7	20,9	39
2011	P/M	Com	0	10-15	3	5,0	4,2	4,6	8,0	15,3	48
2011	P/M	Com	0	15-20	1	4,7	10,7	4,4	13,9	27,0	23
2011	P/M	Com	0	15-20	2	4,8	5,7	4,7	9,2	25,5	38
2011	P/M	Com	0	15-20	3	4,9	4,0	4,6	7,9	15,3	49
2011	A/M	Sem	0	0-2,5	1	5,1	2,9	6,1	8,8	3,3	67
2011	A/M	Sem	0	0-2,5	2	4,8	4,3	5,2	9,3	5,7	53
2011	A/M	Sem	0	0-2,5	3	5,0	5,8	5,0	10,4	8,1	44
2011	A/M	Sem	0	2,5-5	1	4,8	3,2	4,6	7,2	13,0	55
2011	A/M	Sem	0	2,5-5	2	4,6	3,4	4,4	7,0	18,2	51
2011	A/M	Sem	0	2,5-5	3	4,8	4,9	4,3	8,5	16,3	42
2011	A/M	Sem	0	5-7,5	1	4,8	3,4	4,2	6,8	19,1	50
2011	A/M	Sem	0	5-7,5	2	4,7	2,9	4,2	6,1	23,9	52
2011	A/M	Sem	0	5-7,5	3	4,8	5,4	4,3	8,8	21,0	38
2011	A/M	Sem	0	7,5-10	1	4,7	3,9	3,8	6,9	23,5	43
2011	A/M	Sem	0	7,5-10	2	4,9	3,1	4,5	6,5	22,3	53

Continua...

Continuação...

Ano	Culturas	Calagem	N	Camada	Bloco	pH	H+Al	CTCef	CTC7	m	V
			kg ha ⁻¹	cm		1:1	-----	cmolc dm ⁻³	-----	-----	%
2011	A/M	Sem	0	7,5-10	3	4,8	5,7	4,4	9,0	24,8	37
2011	A/M	Sem	0	10-15	1	4,7	3,5	3,8	6,3	26,2	45
2011	A/M	Sem	0	10-15	2	4,8	3,1	4,2	6,2	24,1	51
2011	A/M	Sem	0	10-15	3	4,8	7,8	4,0	10,8	27,2	27
2011	A/M	Sem	0	15-20	1	4,8	3,1	3,8	5,8	26,5	48
2011	A/M	Sem	0	15-20	2	4,9	4,8	5,3	8,6	28,5	44
2011	A/M	Sem	0	15-20	3	4,8	4,8	4,2	7,7	31,0	37
2011	AV/M	Sem	0	0-2,5	1	4,8	4,4	4,7	8,5	10,7	49
2011	AV/M	Sem	0	0-2,5	2	4,8	3,8	5,1	8,5	5,9	56
2011	AV/M	Sem	0	0-2,5	3	4,5	7,0	3,3	9,8	15,0	29
2011	AV/M	Sem	0	2,5-5	1	4,7	4,3	3,6	7,1	22,3	39
2011	AV/M	Sem	0	2,5-5	2	4,5	3,7	4,1	6,6	27,0	45
2011	AV/M	Sem	0	2,5-5	3	4,4	4,4	2,7	6,2	32,9	30
2011	AV/M	Sem	0	5-7,5	1	4,6	4,3	3,8	6,9	31,5	38
2011	AV/M	Sem	0	5-7,5	2	4,3	3,1	3,6	5,2	41,6	41
2011	AV/M	Sem	0	5-7,5	3	4,5	5,8	3,8	7,8	47,0	26
2011	AV/M	Sem	0	7,5-10	1	4,7	3,8	3,8	6,3	34,4	39
2011	AV/M	Sem	0	7,5-10	2	4,2	3,2	3,5	5,2	42,6	39
2011	AV/M	Sem	0	7,5-10	3	4,5	5,7	3,5	7,4	51,6	23
2011	AV/M	Sem	0	10-15	1	4,6	11,2	4,1	14,0	31,5	20
2011	AV/M	Sem	0	10-15	2	4,6	3,6	4,3	6,0	44,5	40
2011	AV/M	Sem	0	10-15	3	4,6	5,3	3,4	7,0	50,5	24
2011	AV/M	Sem	0	15-20	1	4,8	3,7	4,3	6,9	25,6	46
2011	AV/M	Sem	0	15-20	2	4,7	3,6	3,9	5,7	44,1	38
2011	AV/M	Sem	0	15-20	3	4,6	4,3	3,9	6,3	48,8	32
2011	AV/MC	Sem	0	0-2,5	1	4,6	4,8	5,5	9,4	16,5	48
2011	AV/MC	Sem	0	0-2,5	2	5,1	2,3	5,5	7,7	1,8	71
2011	AV/MC	Sem	0	0-2,5	3	4,6	7,6	5,1	12,3	7,8	38
2011	AV/MC	Sem	0	2,5-5	1	4,6	4,7	4,1	7,3	36,7	35
2011	AV/MC	Sem	0	2,5-5	2	4,9	3,0	4,0	6,4	14,9	54
2011	AV/MC	Sem	0	2,5-5	3	4,4	7,3	3,8	9,9	33,8	26
2011	AV/MC	Sem	0	5-7,5	1	4,5	4,9	3,9	7,1	43,9	31
2011	AV/MC	Sem	0	5-7,5	2	4,8	3,8	3,8	6,7	23,7	44
2011	AV/MC	Sem	0	5-7,5	3	4,4	6,1	3,6	8,1	44,1	25
2011	AV/MC	Sem	0	7,5-10	1	4,4	5,2	4,5	8,2	33,0	37
2011	AV/MC	Sem	0	7,5-10	2	4,6	2,5	3,4	4,9	29,4	49
2011	AV/MC	Sem	0	7,5-10	3	4,5	6,6	3,5	8,4	48,2	22
2011	AV/MC	Sem	0	10-15	1	4,5	4,1	3,9	6,1	48,4	33
2011	AV/MC	Sem	0	10-15	2	4,7	3,6	3,9	6,3	31,1	43
2011	AV/MC	Sem	0	10-15	3	4,5	5,1	3,6	6,9	49,5	27
2011	AV/MC	Sem	0	15-20	1	4,7	4,1	4,0	6,1	50,0	33
2011	AV/MC	Sem	0	15-20	2	4,8	3,4	3,8	6,4	23,5	46
2011	AV/MC	Sem	0	15-20	3	4,6	6,5	3,9	8,7	45,8	25
2011	LLM	Sem	0	0-2,5	1	5,3	3,6	9,1	12,6	1,1	71
2011	LLM	Sem	0	0-2,5	2	5,2	3,2	7,6	10,6	1,3	70
2011	LLM	Sem	0	0-2,5	3	4,6	2,7	10,6	13,1	1,9	79
2011	LLM	Sem	0	2,5-5	1	5,0	5,5	6,1	11,3	4,9	51
2011	LLM	Sem	0	2,5-5	2	5,0	2,8	5,2	7,7	5,8	64
2011	LLM	Sem	0	2,5-5	3	4,9	5,2	6,0	10,9	5,0	52
2011	LLM	Sem	0	5-7,5	1	4,8	6,0	5,1	10,6	11,7	43
2011	LLM	Sem	0	5-7,5	2	4,5	6,3	4,8	10,6	10,5	40

Continua...

Continuação...

Ano	Culturas	Calagem	N	Camada	Bloco	pH	H+Al	CTCef	CTC7	m	V
			kg ha ⁻¹	cm		1:1	-----	cmol _c dm ⁻³ -----		----- % ---	
2011	LLM	Sem	0	5-7,5	3	4,6	6,0	5,1	10,3	15,5	42
2011	LLM	Sem	0	7,5-10	1	4,6	6,6	4,8	10,5	18,7	37
2011	LLM	Sem	0	7,5-10	2	4,3	4,0	4,7	7,7	21,4	48
2011	LLM	Sem	0	7,5-10	3	4,6	5,1	4,4	8,3	27,6	38
2011	LLM	Sem	0	10-15	1	4,5	7,2	4,8	10,8	27,0	33
2011	LLM	Sem	0	10-15	2	4,3	3,4	4,2	6,3	31,1	46
2011	LLM	Sem	0	10-15	3	4,4	8,6	4,0	11,0	40,4	22
2011	LLM	Sem	0	15-20	1	4,5	6,8	4,9	10,3	28,4	34
2011	LLM	Sem	0	15-20	2	4,2	4,8	4,6	7,4	43,1	36
2011	LLM	Sem	0	15-20	3	4,3	12,4	4,2	14,5	50,2	14
2011	P/M	Sem	0	0-2,5	1	5,1	5,0	5,9	10,6	3,4	53
2011	P/M	Sem	0	0-2,5	2	5,3	2,5	5,7	8,1	1,7	70
2011	P/M	Sem	0	0-2,5	3	5,2	4,9	5,1	9,8	3,9	50
2011	P/M	Sem	0	2,5-5	1	4,9	5,6	4,4	9,4	13,7	40
2011	P/M	Sem	0	2,5-5	2	5,1	3,1	4,8	7,4	8,4	59
2011	P/M	Sem	0	2,5-5	3	5,0	5,1	4,4	9,0	11,5	43
2011	P/M	Sem	0	5-7,5	1	4,8	4,7	4,1	8,1	19,3	41
2011	P/M	Sem	0	5-7,5	2	5,0	3,6	4,4	7,3	16,0	51
2011	P/M	Sem	0	5-7,5	3	5,0	3,6	3,8	6,9	13,1	48
2011	P/M	Sem	0	7,5-10	1	4,7	5,4	3,6	8,1	22,4	34
2011	P/M	Sem	0	7,5-10	2	5,0	2,8	4,7	6,5	21,4	57
2011	P/M	Sem	0	7,5-10	3	5,0	5,0	4,8	9,2	12,6	45
2011	P/M	Sem	0	10-15	1	4,7	7,2	5,3	10,7	32,3	33
2011	P/M	Sem	0	10-15	2	4,8	4,2	4,9	7,7	28,7	45
2011	P/M	Sem	0	10-15	3	4,9	4,5	4,4	8,3	13,5	46
2011	P/M	Sem	0	15-20	1	4,6	6,5	5,9	10,2	37,2	36
2011	P/M	Sem	0	15-20	2	4,8	4,1	5,4	7,9	29,8	48
2011	P/M	Sem	0	15-20	3	4,9	5,8	4,5	9,4	17,9	39
2013	A/M	Com	0	0-2,5	1	5,4	1,7	7,0	8,6	1,4	80
2013	A/M	Com	0	0-2,5	2	6,0	1,7	10,3	12,0	0,0	86
2013	A/M	Com	0	0-2,5	3	5,8	1,6	10,4	11,9	0,0	87
2013	A/M	Com	0	2,5-5	1	5,1	1,6	4,9	6,5	0,0	76
2013	A/M	Com	0	2,5-5	2	5,6	2,5	7,3	9,8	0,0	75
2013	A/M	Com	0	2,5-5	3	5,2	2,5	6,1	8,5	1,6	71
2013	A/M	Com	0	5-7,5	1	5,0	1,4	4,1	5,2	7,3	73
2013	A/M	Com	0	5-7,5	2	5,2	3,1	5,3	8,2	3,8	62
2013	A/M	Com	0	5-7,5	3	5,0	2,5	4,5	6,7	6,6	63
2013	A/M	Com	0	7,5-10	1	4,7	1,4	3,9	4,8	13,0	71
2013	A/M	Com	0	7,5-10	2	5,1	3,1	5,0	7,7	7,9	60
2013	A/M	Com	0	7,5-10	3	4,8	2,0	3,9	5,3	15,2	63
2013	A/M	Com	0	10-15	1	4,8	1,4	3,9	4,7	15,3	70
2013	A/M	Com	0	10-15	2	5,0	4,4	5,2	8,9	13,5	51
2013	A/M	Com	0	10-15	3	4,8	2,2	3,6	5,1	19,6	57
2013	A/M	Com	0	15-20	1	4,8	1,6	4,2	4,9	21,7	67
2013	A/M	Com	0	15-20	2	5,2	4,9	5,0	9,0	18,0	46
2013	A/M	Com	0	15-20	3	4,8	3,9	4,2	7,0	26,4	44
2013	AV/M	Com	0	0-2,5	1	5,5	1,4	8,3	9,7	0,0	86
2013	AV/M	Com	0	0-2,5	2	5,9	2,0	13,1	15,0	0,0	87
2013	AV/M	Com	0	0-2,5	3	6,4	1,6	10,5	12,1	0,0	87
2013	AV/M	Com	0	2,5-5	1	5,0	1,6	6,4	8,0	0,0	80
2013	AV/M	Com	0	2,5-5	2	5,4	2,8	8,5	11,1	1,2	76

Continua...

Continuação...

Ano	Culturas	Calagem	N	Camada	Bloco	pH	H+Al	CTCef	CTC7	m	V
			kg ha ⁻¹	cm		1:1	-----	cmolc dm ⁻³	-----	-----	% ---
2013	AV/M	Com	0	2,5-5	3	5,7	2,8	7,8	10,5	0,0	74
2013	AV/M	Com	0	5-7,5	1	4,9	3,1	4,4	7,3	4,5	58
2013	AV/M	Com	0	5-7,5	2	4,7	4,9	5,1	9,3	13,7	47
2013	AV/M	Com	0	5-7,5	3	5,0	3,9	5,0	8,7	4,0	55
2013	AV/M	Com	0	7,5-10	1	4,8	1,7	4,1	5,2	14,7	67
2013	AV/M	Com	0	7,5-10	2	4,6	4,9	4,8	8,8	18,8	44
2013	AV/M	Com	0	7,5-10	3	4,8	6,9	3,5	9,6	23,1	28
2013	AV/M	Com	0	10-15	1	4,9	2,5	3,7	5,3	24,4	53
2013	AV/M	Com	0	10-15	2	4,7	6,2	4,7	9,6	27,5	36
2013	AV/M	Com	0	10-15	3	4,6	4,4	3,6	7,0	27,9	37
2013	AV/M	Com	0	15-20	1	4,8	2,5	3,6	5,1	27,6	51
2013	AV/M	Com	0	15-20	2	4,7	5,5	4,2	8,5	28,6	35
2013	AV/M	Com	0	15-20	3	4,7	6,2	4,2	8,8	38,4	29
2013	AV/MC	Com	0	0-2,5	1	5,3	1,7	8,0	9,7	0,0	83
2013	AV/MC	Com	0	0-2,5	2	5,6	2,8	10,0	12,7	0,0	78
2013	AV/MC	Com	0	0-2,5	3	5,4	2,5	8,3	10,5	2,4	77
2013	AV/MC	Com	0	2,5-5	1	4,6	2,0	4,5	6,1	8,8	68
2013	AV/MC	Com	0	2,5-5	2	5,3	3,1	7,2	10,2	1,4	70
2013	AV/MC	Com	0	2,5-5	3	5,0	2,8	5,2	7,8	3,9	64
2013	AV/MC	Com	0	5-7,5	1	4,6	2,8	3,5	5,3	28,6	47
2013	AV/MC	Com	0	5-7,5	2	5,1	3,9	5,4	9,2	1,9	57
2013	AV/MC	Com	0	5-7,5	3	4,8	2,5	3,7	5,5	19,1	54
2013	AV/MC	Com	0	7,5-10	1	4,5	1,6	3,0	3,4	40,4	53
2013	AV/MC	Com	0	7,5-10	2	4,9	3,9	4,4	8,0	6,8	51
2013	AV/MC	Com	0	7,5-10	3	4,7	2,5	3,7	5,3	24,3	53
2013	AV/MC	Com	0	10-15	1	4,6	2,0	3,4	3,8	46,7	48
2013	AV/MC	Com	0	10-15	2	4,8	3,9	4,1	7,4	14,5	48
2013	AV/MC	Com	0	10-15	3	5,0	4,4	3,8	7,2	26,5	39
2013	AV/MC	Com	0	15-20	1	4,7	2,2	3,1	4,0	41,7	45
2013	AV/MC	Com	0	15-20	2	4,8	4,9	4,5	8,7	15,6	44
2013	AV/MC	Com	0	15-20	3	5,2	2,5	3,7	5,0	32,2	50
2013	LLM	Com	0	0-2,5	1	5,9	1,7	9,6	11,3	0,0	85
2013	LLM	Com	0	0-2,5	2	6,1	2,2	12,6	14,7	0,0	85
2013	LLM	Com	0	0-2,5	3	6,2	1,6	12,9	14,7	0,0	90
2013	LLM	Com	0	2,5-5	1	5,6	3,5	8,8	12,2	0,0	72
2013	LLM	Com	0	2,5-5	2	5,7	2,8	10,3	13,0	0,0	79
2013	LLM	Com	0	2,5-5	3	5,6	2,2	9,4	11,6	0,0	81
2013	LLM	Com	0	5-7,5	1	5,2	3,9	6,6	10,4	0,0	63
2013	LLM	Com	0	5-7,5	2	5,4	3,5	6,5	9,9	1,5	65
2013	LLM	Com	0	5-7,5	3	5,0	2,0	5,6	7,1	9,0	72
2013	LLM	Com	0	7,5-10	1	4,7	2,8	4,2	6,6	9,6	58
2013	LLM	Com	0	7,5-10	2	5,0	3,1	6,0	8,9	3,4	65
2013	LLM	Com	0	7,5-10	3	4,8	5,5	4,7	9,7	10,7	43
2013	LLM	Com	0	10-15	1	4,6	3,1	3,7	6,2	16,1	50
2013	LLM	Com	0	10-15	2	4,9	4,4	4,8	8,7	10,3	50
2013	LLM	Com	0	10-15	3	4,7	4,9	4,1	8,1	22,2	39
2013	LLM	Com	0	15-20	1	4,7	9,7	4,2	13,0	19,1	26
2013	LLM	Com	0	15-20	2	4,8	4,9	4,4	8,2	25,0	40
2013	LLM	Com	0	15-20	3	4,7	3,1	4,2	6,2	26,5	50
2013	P/M	Com	0	0-2,5	1	6,2	2,5	7,7	10,2	0,0	76
2013	P/M	Com	0	0-2,5	2	5,8	2,0	9,5	11,5	0,0	83

Continua...

Continuação...

Ano	Culturas	Calagem	N	Camada	Bloco	pH	H+Al	CTCef	CTC7	m	V
			kg ha ⁻¹	cm		1:1	-----	cmolc dm ⁻³	-----	-----	% ---
2013	P/M	Com	0	0-2,5	3	5,5	2,8	8,4	11,1	0,0	76
2013	P/M	Com	0	2,5-5	1	5,9	2,2	5,2	7,4	0,0	70
2013	P/M	Com	0	2,5-5	2	5,6	2,8	7,9	10,6	0,0	74
2013	P/M	Com	0	2,5-5	3	5,1	3,9	4,9	8,7	2,0	55
2013	P/M	Com	0	5-7,5	1	5,3	2,5	4,4	6,8	2,2	64
2013	P/M	Com	0	5-7,5	2	5,1	3,5	7,7	11,0	2,6	68
2013	P/M	Com	0	5-7,5	3	5,0	3,9	4,0	7,7	5,0	49
2013	P/M	Com	0	7,5-10	1	5,3	3,9	4,1	7,9	2,4	51
2013	P/M	Com	0	7,5-10	2	4,8	4,9	4,8	9,2	10,4	47
2013	P/M	Com	0	7,5-10	3	4,8	1,4	4,1	5,1	9,8	73
2013	P/M	Com	0	10-15	1	4,9	5,5	3,8	9,0	8,0	39
2013	P/M	Com	0	10-15	2	4,6	4,9	4,7	8,6	21,1	43
2013	P/M	Com	0	10-15	3	4,9	1,6	4,1	5,2	12,3	69
2013	P/M	Com	0	15-20	1	4,9	3,5	3,9	6,9	12,8	49
2013	P/M	Com	0	15-20	2	4,7	6,2	4,8	9,7	27,0	36
2013	P/M	Com	0	15-20	3	4,8	2,0	4,4	5,7	16,0	65
2013	A/M	Com	180	0-2,5	1	5,6	1,4	7,4	8,8	0,0	84
2013	A/M	Com	180	0-2,5	2	5,8	1,7	8,2	9,9	0,0	83
2013	A/M	Com	180	0-2,5	3	6,0	2,2	9,6	11,8	0,0	81
2013	A/M	Com	180	2,5-5	1	5,0	2,2	4,9	7,0	2,1	68
2013	A/M	Com	180	2,5-5	2	5,4	2,2	7,0	9,2	0,0	76
2013	A/M	Com	180	2,5-5	3	5,2	3,5	6,4	9,9	0,0	64
2013	A/M	Com	180	5-7,5	1	4,6	6,9	4,1	10,3	14,7	34
2013	A/M	Com	180	5-7,5	2	4,5	2,2	4,1	5,8	12,3	62
2013	A/M	Com	180	5-7,5	3	4,8	4,4	4,9	9,1	4,1	51
2013	A/M	Com	180	7,5-10	1	4,6	6,9	3,6	9,6	25,2	28
2013	A/M	Com	180	7,5-10	2	4,5	3,9	3,8	6,7	26,3	42
2013	A/M	Com	180	7,5-10	3	4,7	5,5	4,3	9,2	14,0	40
2013	A/M	Com	180	10-15	1	4,6	6,9	3,4	9,1	34,8	25
2013	A/M	Com	180	10-15	2	4,4	2,5	3,4	4,8	31,9	48
2013	A/M	Com	180	10-15	3	4,5	4,9	3,2	6,8	41,1	28
2013	A/M	Com	180	15-20	1	4,6	5,5	3,3	7,6	36,5	27
2013	A/M	Com	180	15-20	2	4,5	3,9	3,5	6,4	28,3	39
2013	A/M	Com	180	15-20	3	4,6	8,7	3,2	10,2	50,8	15
2013	AV/M	Com	180	0-2,5	1	5,6	2,5	8,6	11,0	0,0	78
2013	AV/M	Com	180	0-2,5	2	5,8	1,2	8,8	10,0	0,0	88
2013	AV/M	Com	180	0-2,5	3	5,5	2,2	10,0	12,1	0,0	83
2013	AV/M	Com	180	2,5-5	1	5,0	4,4	5,5	9,8	1,8	55
2013	AV/M	Com	180	2,5-5	2	4,8	1,4	5,0	6,1	6,1	77
2013	AV/M	Com	180	2,5-5	3	5,4	2,2	8,3	10,5	0,0	79
2013	AV/M	Com	180	5-7,5	1	4,4	5,5	4,1	8,6	24,7	36
2013	AV/M	Com	180	5-7,5	2	4,5	2,5	3,6	5,0	30,5	50
2013	AV/M	Com	180	5-7,5	3	4,5	1,7	4,8	6,2	6,3	73
2013	AV/M	Com	180	7,5-10	1	4,4	8,7	3,4	10,7	38,2	20
2013	AV/M	Com	180	7,5-10	2	4,3	3,5	3,9	5,8	41,4	39
2013	AV/M	Com	180	7,5-10	3	4,3	3,9	4,3	7,0	28,0	44
2013	AV/M	Com	180	10-15	1	4,4	8,7	3,9	10,8	44,1	20
2013	AV/M	Com	180	10-15	2	4,5	3,9	3,0	5,5	47,4	28
2013	AV/M	Com	180	10-15	3	4,3	4,4	4,6	7,0	43,7	37
2013	AV/M	Com	180	15-20	1	4,4	8,7	3,4	10,3	50,0	16
2013	AV/M	Com	180	15-20	2	4,5	4,4	3,4	5,9	55,1	26

Continua...

Continuação...

Ano	Culturas	Calagem	N	Camada	Bloco	pH	H+Al	CTCef	CTC7	m	V
			kg ha ⁻¹	cm		1:1	-----	cmol _c dm ⁻³ -----		-----	% ---
2013	AV/M	Com	180	15-20	3	4,5	4,4	4,5	6,8	46,3	36
2013	AV/MC	Com	180	0-2,5	1	5,4	2,5	10,8	13,2	0,0	82
2013	AV/MC	Com	180	0-2,5	2	5,8	1,6	7,3	8,9	0,0	82
2013	AV/MC	Com	180	0-2,5	3	5,4	1,4	8,9	10,2	1,1	87
2013	AV/MC	Com	180	2,5-5	1	4,5	3,1	6,1	9,1	1,6	66
2013	AV/MC	Com	180	2,5-5	2	5,1	2,2	6,3	8,5	0,0	74
2013	AV/MC	Com	180	2,5-5	3	4,9	2,2	6,6	8,6	3,0	75
2013	AV/MC	Com	180	5-7,5	1	4,1	8,7	4,1	11,6	27,1	26
2013	AV/MC	Com	180	5-7,5	2	4,8	3,9	3,9	7,3	12,8	47
2013	AV/MC	Com	180	5-7,5	3	4,5	6,9	4,4	10,1	25,2	32
2013	AV/MC	Com	180	7,5-10	1	4,1	10,9	3,7	13,2	37,5	18
2013	AV/MC	Com	180	7,5-10	2	4,7	3,1	3,9	6,0	25,4	49
2013	AV/MC	Com	180	7,5-10	3	4,4	4,9	3,4	6,7	46,6	27
2013	AV/MC	Com	180	10-15	1	4,3	9,7	4,6	11,8	52,3	19
2013	AV/MC	Com	180	10-15	2	4,9	1,7	3,7	4,4	27,1	61
2013	AV/MC	Com	180	10-15	3	4,3	7,7	3,5	9,2	56,9	16
2013	AV/MC	Com	180	15-20	1	4,3	12,3	3,5	13,5	63,2	9
2013	AV/MC	Com	180	15-20	2	4,9	2,2	3,8	4,9	28,7	56
2013	AV/MC	Com	180	15-20	3	4,5	7,7	3,5	9,1	59,8	15
2013	LLM	Com	180	0-2,5	1	6,0	3,5	14,3	17,7	0,0	81
2013	LLM	Com	180	0-2,5	2	6,0	1,6	11,2	12,8	0,0	88
2013	LLM	Com	180	0-2,5	3	6,2	1,7	13,6	15,3	0,0	89
2013	LLM	Com	180	2,5-5	1	5,4	2,2	10,6	12,8	0,0	83
2013	LLM	Com	180	2,5-5	2	5,4	1,4	8,9	10,2	0,0	87
2013	LLM	Com	180	2,5-5	3	5,6	3,1	9,2	12,3	0,0	75
2013	LLM	Com	180	5-7,5	1	4,9	2,5	6,2	8,5	3,3	70
2013	LLM	Com	180	5-7,5	2	4,5	1,6	4,8	6,3	2,1	75
2013	LLM	Com	180	5-7,5	3	5,0	4,4	6,5	10,6	3,1	59
2013	LLM	Com	180	7,5-10	1	4,6	3,5	4,2	7,2	11,9	51
2013	LLM	Com	180	7,5-10	2	4,5	2,8	3,7	5,8	18,8	52
2013	LLM	Com	180	7,5-10	3	4,7	7,7	4,7	11,6	14,9	34
2013	LLM	Com	180	10-15	1	4,6	2,5	4,1	5,6	24,5	55
2013	LLM	Com	180	10-15	2	4,4	2,8	3,6	5,2	32,9	47
2013	LLM	Com	180	10-15	3	4,5	6,2	3,9	9,0	28,5	31
2013	LLM	Com	180	15-20	1	4,9	3,5	4,0	6,5	25,3	46
2013	LLM	Com	180	15-20	2	4,7	2,5	3,7	4,7	40,3	47
2013	LLM	Com	180	15-20	3	4,6	6,9	3,7	9,1	40,2	24
2013	P/M	Com	180	0-2,5	1	4,4	1,7	8,6	10,2	0,0	84
2013	P/M	Com	180	0-2,5	2	5,8	2,0	7,6	9,6	0,0	79
2013	P/M	Com	180	0-2,5	3	5,9	1,7	8,0	9,7	0,0	83
2013	P/M	Com	180	2,5-5	1	4,9	2,2	5,1	7,2	2,0	69
2013	P/M	Com	180	2,5-5	2	5,1	2,8	4,8	7,5	2,1	63
2013	P/M	Com	180	2,5-5	3	4,8	4,9	4,3	8,9	7,0	45
2013	P/M	Com	180	5-7,5	1	4,7	2,5	3,4	5,2	20,8	52
2013	P/M	Com	180	5-7,5	2	4,6	4,9	4,5	8,6	17,8	43
2013	P/M	Com	180	5-7,5	3	4,6	5,5	3,6	8,4	19,7	34
2013	P/M	Com	180	7,5-10	1	4,6	3,9	3,3	6,0	36,3	35
2013	P/M	Com	180	7,5-10	2	4,5	9,7	3,5	11,9	34,4	19
2013	P/M	Com	180	7,5-10	3	4,6	6,2	3,2	8,3	34,0	26
2013	P/M	Com	180	10-15	1	4,6	2,8	3,3	4,8	39,5	42
2013	P/M	Com	180	10-15	2	4,4	8,7	3,6	10,8	39,4	20

Continua...

Continuação...

Ano	Culturas	Calagem	N	Camada	Bloco	pH	H+Al	CTCef	CTC7	m	V
			kg ha ⁻¹	cm		1:1	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	-----	%
2013	P/M	Com	180	10-15	3	4,4	5,5	3,5	7,6	40,0	28
2013	P/M	Com	180	15-20	1	4,6	4,4	4,0	6,9	37,9	36
2013	P/M	Com	180	15-20	2	4,5	6,2	3,6	8,3	41,2	26
2013	P/M	Com	180	15-20	3	4,6	6,2	4,2	8,5	45,4	27

N: dose de N. CTCef: CTC efetiva, CTC7: CTC a pH 7,0. m: saturação por Al³⁺. V: saturação por bases.