

QUÍMICA DO HÚMUS E FERTILIDADE DO SOLO APÓS ADIÇÃO
DE ADUBOS ORGÂNICOS

JADER GALBA BUSATO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
ABRIL - 2008

QUÍMICA DO HÚMUS E FERTILIDADE DO SOLO APÓS ADIÇÃO
DE ADUBOS ORGÂNICOS

JADER GALBA BUSATO

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Luciano Pasqualoto Canellas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

ABRIL - 2008

QUÍMICA DO HÚMUS E FERTILIDADE DO SOLO APÓS ADIÇÃO DE ADUBOS ORGÂNICOS

JADER GALBA BUSATO

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal.

Aprovada em 08 de abril de 2008

Comissão Examinadora:

Gabriel de Araújo Santos (Ph.D.) – UFRRJ/Dept. Solos

Marcelo Eduardo Alves (D.Sc.) – ESALQ-USP/Dept. Ciências exatas

Marius Altoé Baldotto (D.Sc.) – UENF/LSOL

Luciano Pasqualoto Canellas (Ph.D) – UENF/LSOL – orientador

AGRADECIMENTOS

À minha família, incondicionalmente;

A June e família;

Aos meus orientadores, professores Luciano P. Canellas e Ary C. X. Velloso, pela amizade, confiança e convivência;

Aos professores Fábio Olivares, Cláudio Roberto Marciano, Marcelo Eduardo Alves, Ladislau Martin-Neto e Gabriel de Araújo Santos pelas críticas, sugestões e auxílio nas análises;

Aos amigos Marihus Altoé Baldotto, Leonardo Dobbss, Edenilson Cremonini, Daniel Zandonade, Raul Rossiello, Rachel Garcia, Fabiane, irmãs Barbé, Gonzaga, Tiago David, Natália, Robertinho, Rafael Muniz, Betão, Giuliano Negrelli, Lincoln Piovesan, Jolimar Schiavo, Ismail Haddade, Manú, Juíz e Cleuber;

À UENF por possibilitar, por meio de seu financiamento, a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
APÊNDICES	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
2.1. Desenvolvimento da agricultura.....	04
2.2. Considerações sobre a matéria orgânica do solo.....	06
2.2.1. Utilização do vermicomposto na agricultura.....	08
2.2.2. Utilização da torta de filtro na agricultura.....	11
2.3. O papel das cargas elétricas na fertilidade do solo.....	13
2.3.1. Avaliação das cargas elétricas pelo método de adsorção de césio.....	15
2.4. Os métodos espectroscópicos na avaliação do manejo dos solos.....	17

3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Coleta das amostras.....	22
3.2. Obtenção dos adubos orgânicos.....	22
3.3. Montagem do experimento.....	23
3.4. Análises químicas de rotina.....	24
3.5. Ponto de carga zero.....	25
3.6. Análise mineralógica das frações argila, silte e areia por difração de raios X.....	25
3.7. Cargas elétricas de caráter variável e permanente nos solos.....	26
3.8. Dosagem de carbono nas frações humificadas.....	27
3.9. Extração, purificação e determinação do C e N nos ácidos húmicos.....	28
3.10. Espectroscopia na região do ultravioleta-visível (UV-vis).....	29
3.11. Concentração de radicais livres semiquinonas (CRLS).....	29
3.12. Avaliação estatística.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Caracterização química, eletroquímica e mineralógica dos solos.....	32
4.2. Caracterização dos adubos orgânicos.....	37
4.3. Características químicas dos solos após a adição dos adubos orgânicos.....	42
4.3.1. Efeito sobre o pH.....	42
4.3.2. Efeito sobre o cálcio.....	48
4.3.3. Efeito sobre o magnésio.....	52
4.3.4. Efeito sobre o potássio.....	56
4.3.5. Efeito sobre o fósforo.....	60
4.3.6. Efeito sobre o enxofre.....	64
4.3.7. Efeito sobre o carbono total.....	68

4.3.8. Efeito sobre a capacidade de troca de cátions.....	72
4.4. Distribuição das cargas elétricas variáveis e permanentes.....	75
4.5. Matéria orgânica humificada após adição dos adubos orgânicos.....	79
4.5.1. Efeito sobre o teor de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos.....	79
4.6. Características espectroscópicas dos ácidos húmicos.....	86
4.7. Utilização da matéria orgânica para a avaliação da qualidade dos solos..	95
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	105
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
APÊNDICE A.....	121
APÊNDICE B.....	124
APÊNDICE C.....	128

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Composição química média do vermicomposto.....	09
Quadro 02 - Composição química média da torta de filtro.....	12
Quadro 03 - Descrição dos tratamentos.....	24
Quadro 04 - Cronograma de análises.....	31
Quadro 05 - Composição química da torta de filtro, do vermicomposto e de dois solos do município de Campos dos Goytacazes – RJ.....	41
Quadro 06 - Composição elementar, relações C/N, H/C e O/C, acidez total, carboxílica e fenólica e relação E_4/E_6 em ácidos húmicos extraídos de torta de filtro e vermicomposto.....	42
Quadro 07 - Equações de regressão para o valor de pH dos solos, nos diferentes tempos de amostragem, em função das doses dos adubos orgânicos.....	45
Quadro 08 - Equações de regressão para os teores de cálcio, nos diferentes tempos de amostragem, em função das doses de torta de filtro e vermicomposto.....	50
Quadro 09 - Equações de regressão para os teores de magnésio, nos diferentes tempos, em função das doses de vermicomposto e de torta de filtro.....	54
Quadro 10 - Equações de regressão para os teores de potássio, nos diferentes tempos, em função das doses de vermicomposto e de torta de filtro.....	58

Quadro 11 - Equações de regressão para os teores de fósforo, nos diferentes tempos, em função das doses de vermicomposto e de torta de filtro.....	62
Quadro 12 - Equações de regressão para os teores de enxofre, nos diferentes tempos, em função das doses de vermicomposto e de torta de filtro.....	66
Quadro 13 - Equações de regressão para os teores de Carbono total, nos diferentes tempos, em função das doses de vermicomposto e de torta de filtro.....	70
Quadro 14 - Equações de regressão para a capacidade de troca de cátions, nos diferentes tempos, em função das doses de vermicomposto e de torta de filtro.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 -	Produção de açúcar no Brasil no período compreendido entre as safras de 2002/03 e 2006/07.....	13
Figura 02 -	Determinação do ponto de carga zero em dois solos da região de Campos dos Goytacazes – RJ.....	35
Figura 03 -	Difratogramas de raios X das frações areia, silte e argila em dois solos da região de Campos dos Goytacazes – RJ.....	36
Figura 04 -	Valor de pH do solo em resposta à aplicação de adubos orgânicos.....	47
Figura 05 -	Teor de cálcio em resposta à aplicação de adubos orgânicos.....	51
Figura 06 -	Teor de magnésio em resposta à aplicação de adubos orgânicos.....	55
Figura 07 -	Teor de potássio em resposta à aplicação de adubos orgânicos.....	59
Figura 08 -	Teor de fósforo em resposta à aplicação de adubos orgânicos.....	63
Figura 09 -	Teor de enxofre em resposta à aplicação de adubos orgânicos.....	67
Figura 10 -	Teor de carbono total em resposta à aplicação de adubos orgânicos.....	71
Figura 11 -	Capacidade de troca de cátions do solo em resposta à aplicação de adubos orgânicos.....	74

Figura 12 - Cargas elétricas permanentes e variáveis determinadas pelo método de adsorção do Cs ⁺ , em amostras de um Latossolo Amarelo Eutrófico típico e de um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico, sob aplicação de torta de filtro.....	78
Figura 13 - Teor de ácidos húmicos em resposta à aplicação de adubos orgânicos.....	84
Figura 14 - Teor de ácidos fúlvicos em resposta à aplicação de adubos orgânicos.....	85
Figura 15 - Relação E ₄ /E ₆ em ácidos húmicos isolados de solos sob aplicação de adubos orgânicos.....	89
Figura 16 - Intensidade de fluorescência em ácidos húmicos isolados de solos sob aplicação de adubos orgânicos.....	93
Figura 17 - Concentração de radicais livres do tipo semiquinona em ácidos húmicos num Latossolo e num Cambissolo sob aplicação de torta de filtro ou vermicomposto.....	94
Figura 18 - Relação C _{AH} /C _{AF} em amostras de solos submetidos à adição de vermicomposto e torta de filtro.....	98
Figura 19 - Relação C _{AH} /C _{AF} e o pH de solos sob aplicação de adubos orgânicos.....	99
Figura 20 - Relação C _{AH} /C _{AF} e o teor de cálcio em solos sob aplicação de adubos orgânicos.....	100
Figura 21 - Relação C _{AH} /C _{AF} e o teor de magnésio em solos sob aplicação de adubos orgânicos.....	101
Figura 22 - Relação C _{AH} /C _{AF} e o teor de potássio em solos sob aplicação de adubos orgânicos.....	102
Figura 23 - Relação C _{AH} /C _{AF} e o teor de fósforo em solos sob aplicação de adubos orgânicos.....	103
Figura 24 - Relação C _{AH} /C _{AF} e o teor de enxofre em solos sob aplicação de adubos orgânicos.....	104

APÊNDICE A

Tabela 1A - Quadro da análise de variância.....	121
Tabela 2A - Significância dos coeficientes de regressão em função da dose de adubo orgânico aplicada.....	122
Tabela 3A - Significância dos coeficientes de regressão em função da época de amostragem.....	123

APÊNDICE B

Tabela 1B - Características químicas de um Latossolo Amarelo Eutrófico típico após aplicação de vermicomposto.....	124
Tabela 2B - Características químicas de um Latossolo Amarelo Eutrófico típico após aplicação de torta de filtro.....	125
Tabela 3B - Características químicas de um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico após aplicação de vermicomposto.....	126
Tabela 4B - Características químicas de um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico após aplicação de torta de filtro.....	127

APÊNDICE C

Tabela 1C - Fracionamento químico da matéria orgânica humificada num Latossolo Amarelo Eutrófico típico após aplicação de vermicomposto.....	128
Tabela 2C - Fracionamento químico da matéria orgânica humificada num Latossolo Amarelo Eutrófico típico após aplicação de torta de filtro.....	129
Tabela 3C - Fracionamento químico da matéria orgânica humificada num Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico após aplicação de vermicomposto.....	130
Tabela 4C - Fracionamento químico da matéria orgânica humificada num Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico após aplicação de torta de filtro.....	131
Tabela 5C - Teores de C e N, relação C/N, intensidade de fluorescência e relação E_4/E_6 de ácidos húmicos extraídos de um Latossolo Amarelo Eutrófico típico após aplicação de vermicomposto.....	132

Tabela 6C - Teores de C e N, relação C/N, intensidade de fluorescência e relação E_4/E_6 em ácidos húmicos extraídos de um Latossolo Amarelo Eutrófico típico após aplicação de torta de filtro.....	133
Tabela 7C - Teores de C e N, relação C/N, intensidade de fluorescência e relação E_4/E_6 em ácidos húmicos extraídos de um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico após aplicação de vermicomposto.....	134
Tabela 8C - Teores de C e N, relação C/N, intensidade de fluorescência e relação E_4/E_6 em ácidos húmicos extraídos de um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico após aplicação de torta de filtro.....	135

RESUMO

BUSATO, Jader Galba; Eng. Agrônomo, D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Abril de 2008; Química do húmus e fertilidade do solo após adição de adubos orgânicos. Orientador: Prof. Luciano Pasqualoto Canellas.

O presente trabalho teve o objetivo de reunir informações que permitam associar as características da matéria orgânica humificada aos indicadores usuais de fertilidade em solos submetidos à aplicação de adubos orgânicos. Para isto, foi conduzido um experimento em casa de vegetação, durante um período de dois anos, utilizando amostras de um Latossolo Amarelo Eutrófico típico e de um Cambissolo Háptico Ta Eutrófico vértico, as quais receberam doses equivalentes a 0, 40, 80 e 120 Mg ha⁻¹ de torta de filtro ou de vermicomposto de esterco bovino. Amostras dos solos com material incubado foram obtidas na instalação do experimento e após 90, 180, 360 e 720 dias. A hipótese a ser avaliada é que ocorre um aumento relativamente rápido do caráter hidrofóbico da matéria orgânica do solo após a adição de adubos orgânicos. Com isso, seria observada a maior participação da fração AH e a maior disponibilidade de nutrientes, acarretando em melhoria das condições de fertilidade do solo. Numa primeira etapa, avaliou-se a disponibilização de nutrientes a partir da aplicação dos adubos orgânicos, a participação das frações humificadas da matéria orgânica e a dinâmica das cargas variáveis e permanentes. Numa segunda etapa, ácidos húmicos dos solos sob tratamento foram isolados, purificados e avaliados por meio da sua composição elementar, relação E₄/E₆, intensidade de fluorescência e a concentração de radicais do tipo semiquinonas. A aplicação dos adubos

orgânicos promoveu um rápido decréscimo na intensidade de fluorescência, na concentração de radicais livres semiquinona e aumentou o índice E_4/E_6 . Isto sugere a formação de AH com menor participação de C aromático. O teor de nutrientes nos solos também sofreu modificações rápidas tanto no Latossolo quanto no Cambissolo. Em linhas gerais, o vermicomposto foi mais eficiente no fornecimento de K^+ e Mg^{2+} e a torta de filtro, em Ca^{2+} , P e SO_4^{2-} . Especial atenção merece ser dada aos solos que recebem aplicações desses adubos, quanto ao teor de SO_4^{2-} , após o período de um ano. Da mesma forma, deve-se atentar quanto aos níveis de Mg^{2+} em solos sob aplicação de torta de filtro. A adição dos adubos orgânicos não alterou a distribuição das cargas elétricas no Cambissolo. Para o Latossolo, observou-se um pequeno incremento nas cargas elétricas variáveis até o período de um ano. Foi possível sugerir que o método de adsorção de Cs^+ possibilita a superestimativa de cargas permanentes em solos altamente intemperizados sob recente aplicação de materiais orgânicos. A relação C_{AH}/C_{AF} no Latossolo foi aumentada já nas amostras obtidas após 90 dias de incubação dos materiais, o que caracteriza a rápida elevação do caráter hidrofóbico da matéria orgânica após a adição dos adubos orgânicos. Para o Latossolo, houve concordância entre o aumento da hidrofobicidade da matéria orgânica e os maiores teores de Ca^{2+} , P e pH ao longo do tempo. Para o Cambissolo, entretanto, o aumento da disponibilização de nutrientes não foi acompanhado, em linhas gerais, pela formação de matéria orgânica com caráter hidrofóbico. Isto sugere que, para solos menos intemperizados, o aumento dos teores de AH está associado à deposição constante de resíduos orgânicos, enquanto que, para solos mais intemperizados, a adição desses materiais aumenta rapidamente a participação dessa fração.

ABSTRACT

BUSATO, Jader Galba; Agronomist, D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; April 2008; Humus chemistry and soil fertility after organic amendments. Adviser: Prof. Luciano Pasqualoto Canellas.

The aim of this study was to provide information that could allow correlation of humified organic matter features with soil fertility indicators, usually employed in soils under organic amendment. For this purpose, an experiment was carried out in a greenhouse during two years using samples of Oxisol and Inceptisol that received an equivalent of 0, 40, 80 and 120 Mg ha⁻¹ of filter cake or vermicompost from cattle manure. The soils were sampled on the experiment onset and after 90, 180, 360 and 720 days of incubation. The hypothesis to be evaluated is that a relative rapid increase occurs in the hydrophobic character of soil organic matter after organic fertilization consequently preserving nutrients resulting from biological activity. It is then possible to observe a relative increase in humic acids (HA) fraction and availability of soil nutrients. In the first part, the nutrients availability after organic amendment was evaluated, together with the amount of humified fraction and the dynamics of variable and permanent charges. In the second part, the humic acids were isolated, purified and characterized by elemental composition, E₄/E₆ ratio, fluorescence intensity and concentration of semi-quinones free radicals. The organic amendment promotes a rapid decrease in fluorescence intensity, semi-quinone free radicals and an increase in E₄/E₆ ratio. In addition, a rapid increase in nutrient availability was observed in both soils

studied. In general, the vermicompost was more efficient regarding K^+ and Mg^{2+} supply while filter cake had the same effect on Ca^{2+} , P and SO_4^{2-} . After one year, critical values of SO_4^{2-} were observed for both soils and organic fertilizers suggesting special attention to SO_4^{2-} suppression. Similarly, the use of filter cake required monitoring of Mg^{2+} content. The organic fertilizers did not change distribution in Inceptisol. However, a little increase in the electric variable charges was observed for the Oxisol up to one year. It is possible suggest that Cs^+ adsorption methods induce an overestimation of permanent charge in highly weathering soils under recent organic amendment. The $C_{HA/FA}$ ratio of Oxisol was increased after 90 days of incubation showing a rapid increasing in the hydrophobic character of organic matter. An increase in hydrophobic character of organic matter, Ca^{2+} , P and pH value was observed for the Oxisol during incubation time. However, for the Inceptisol, the enhancement in nutrient availability was not followed by the increase in soil organic matter hydrophobicity. It is possible to suggest that for the less weathering soils the increase of nutrient availability may be associated to a previous high HA concentration while for highly weathering soils the organic amendment rapidly increase both HA and available nutrient concentration.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção familiar formam a estrutura básica da agricultura brasileira. As pequenas propriedades respondem por mais de 40% da produção agrícola do país, abrigando 35,5% da população economicamente ativa no agronegócio (Ferreira et al., 1999). Para a agricultura familiar, a ciclagem de nutrientes pelo uso de resíduos orgânicos é uma prática essencial que garante a manutenção da fertilidade do solo e a sustentabilidade da produção.

A adubação orgânica é uma prática antiga que consiste na utilização de resíduos vegetais e animais para o fornecimento de nutrientes às plantas, normalmente após um processo de compostagem, aproveitando os recursos existentes na propriedade. Os benefícios da aplicação de compostos orgânicos para a agricultura não se constituem em novidades. Além de fornecer nutrientes, a matéria orgânica desses materiais estimula a atividade biológica, potencializa a retenção de água e a formação de agregados no solo e altera a composição das substâncias húmicas (Reddy et al., 1981; Roth e Vieira, 1983; Siqueira e Moreira, 2001; Chaoui et al., 2003; Yagi et al., 2003; Nardi et al., 2004; Rivero et al., 2004; Adani et al., 2005). O uso desses resíduos diminui ou mesmo substitui a necessidade de aplicações de fertilizantes industriais, implicando na redução dos custos de produção evitando, também, a utilização de recursos não renováveis ou que demandem uma grande quantidade de energia durante a sua produção.

Um dos processos mais importantes para a obtenção de adubos orgânicos de alta qualidade é a vermicompostagem. A passagem do composto pelo trato intestinal de minhocas acelera a produção do adubo orgânico e forma um material com características químicas superiores à compostagem convencional (Almeida, 1991; Orozco et al., 1996; Vincelas-Akpa e Loquet, 1997; Arancon et al., 2005; Romero et al., 2007; Suszec et al., 2007). Edwards (1995) sugeriu que os melhores resultados em termos de produtividade obtidos com a aplicação do vermicomposto no solo são devidos à sua melhor estruturação física, aos elevados níveis de enzimas, à maior população microbiana e à presença de hormônios reguladores. O efeito benéfico da aplicação de vermicomposto sobre a disponibilidade e a absorção de nutrientes tem sido reportado por diferentes autores (Lavelle, 1997; Chaoui et al., 2003; Jiménez et al., 2003; Yagi et al., 2003; Garg et al., 2006). Recentemente, Zandonadi et al. (2007) observaram que as substâncias humificadas isoladas do vermicomposto induziram o desenvolvimento radicular lateral em plântulas de milho por meio da ativação de bombas de prótons tanto da plasmalema quanto do tonoplasto. Possíveis reflexos sobre a absorção de água e nutrientes a partir da aplicação de ácidos húmicos extraídos de vermicomposto são, portanto, esperados.

Algumas atividades industriais também geram resíduos com composição e natureza química apropriadas para serem utilizados como adubos orgânicos. Um exemplo é a torta de filtro, subproduto da indústria de processamento da cana para a obtenção de açúcar. Os benefícios da aplicação da torta de filtro sobre a fertilidade do solo e a produtividade das lavouras vêm sendo observados há anos (Samuels e Landrau Jr., 1957; Brasil Sobrinho, 1958; Prasad, 1976; Molina, 1995). A torta de filtro é um resíduo enriquecido em matéria orgânica (Meunchang et al., 2005), com elevado teor de nutrientes, tais como Ca^{2+} , S-SO_4^{2-} e P (Prasad, 1976; Meunchang et al., 2005; Rasul et al., 2006), e que possui, da mesma forma que o vermicomposto, matéria humificada com capacidade de estimular o desenvolvimento vegetal (Busato et al., 2008).

No solo, a aplicação de resíduos orgânicos fornece nutrientes de maneira distinta quando adubos minerais são utilizados. Na adubação convencional, são empregados compostos de alta solubilidade e concentração, buscando fornecer o que as plantas necessitam para a produtividade ótima econômica. O solo é tratado como simples substrato produtivo e não como um ambiente complexo,

onde ocorrem inúmeras reações físicas, químicas e biológicas. Na adubação orgânica, a dinâmica é diferente. A liberação dos elementos é gradual, o que permite reduzir as perdas. Além disso, é observado o aumento da população de microrganismos, insetos e minhocas (Bettiol et al., 2002; Zalazar e Salvo, 2007). Esses organismos podem ser úteis às plantas através de processos simbióticos ou mesmo pela mineralização dos componentes orgânicos.

Além do aspecto agrônômico é preciso ressaltar que a adoção de práticas agrícolas de cunho ecológico, na qual a adição de matéria orgânica é um pilar importante, representa uma reorientação crítica ao processo de modernização experimentado após a revolução verde. A possibilidade de produção de adubos nas propriedades com baixo custo e utilizando recursos renováveis simboliza a quebra da dependência existente entre produtores e as grandes corporações de fertilizantes minerais. Essa reorientação também passa pela valorização do conhecimento popular, fortalecimento e organização das pequenas propriedades e redefinição dos parâmetros adotados para avaliar a eficiência no setor rural. O conceito “produtivo”, nesse caso, fica limitado se utilizado somente para descrever o volume da colheita numa determinada área. A eficiência deve ser balizada nos indicadores da qualidade de vida dos agricultores e dos consumidores, na relação homem-natureza e na garantia de preservação dos recursos naturais.

Sob esse ponto de vista, a avaliação da fertilidade dos solos representa mais do que mensurar o teor de nutrientes disponíveis. Isto porque as interações entre o solo e as plantas compõem um universo mais complexo do que o simples fornecimento de nutrientes. No campo científico e tecnológico, é crescente o interesse pelo papel que a matéria orgânica, em especial as substâncias húmicas, exerce sobre a capacidade produtiva dos solos. Embora um modelo estrutural amplamente aceito para essas substâncias ainda não exista, algumas informações sobre a sua constituição química podem, em certa extensão, ser utilizadas na avaliação da qualidade do solo. Um exemplo é a participação dos ácidos húmicos e ácidos fúlvicos. De maneira geral, é aceito que a maior participação de substâncias húmicas com caráter hidrofóbico (ácidos húmicos) representa maior qualidade da matéria orgânica. Avaliar a participação dos ácidos húmicos e ácidos fúlvicos juntamente com os métodos usuais de análise de fertilidade dos solos pode representar uma estratégia importante para o desenvolvimento de práticas agrícolas baseadas no aporte de matéria orgânica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Desenvolvimento da agricultura

O cultivo agrícola dos solos teve início há aproximadamente dez mil anos quando alguns povos do norte da África e do oeste da Ásia diminuíram a dependência da caça e da coleta e começaram a produzir seus próprios grãos (Ehlers, 1999). A possibilidade de cultivar o alimento foi um fato importante e decisivo para a evolução da vida em sociedade, já que a domesticação das plantas facilitou a obtenção de alimentos. De nômade, o homem passou a se fixar num território determinado no qual a terra deveria propiciar condições favoráveis para o semeio e produção. O manejo da agricultura incluía sistemas ricos em rituais e símbolos, que, em princípio, serviam para regular as práticas de uso do solo (Hecht, 2002).

Já nos séculos XIX e XX, o estudo das ciências proporcionou um grande salto na qualidade de vida do homem, principalmente das populações urbanas. A descoberta de vacinas e medicamentos, a melhoria nas condições de saneamento básico e a distribuição de água tratada são exemplos expressivos disso. Outro fato marcante foi o desenvolvimento de máquinas, motores e dos processos industriais. O conjunto dessas inovações trouxe uma nova realidade, refletida rapidamente no crescimento populacional. Enquanto em 1825 havia no mundo aproximadamente 1 bilhão de pessoas, no início do século XX esse número já ultrapassava 1,6 bilhão (USCB, 2008). O aumento da população era diretamente refletido em maior necessidade de obtenção de alimentos, madeira,

remédios e todo tipo de materiais de origem vegetal. Tornava-se necessário aumentar o conhecimento sobre os fatores que envolvem a produção agrícola, como forma de garantir a oferta de produtos.

Nesse contexto, ainda na metade do século XIX, muitos cientistas se empenharam em estabelecer o balanço material da nutrição das plantas, merecendo destaque o trabalho de Justus von Liebig (1803-1873). Liebig argumentou que os vegetais não se alimentavam de substâncias orgânicas, mas de elementos e compostos minerais simples, juntamente com a água e gás carbônico, e que o húmus era um produto transitório entre a matéria orgânica e os verdadeiros nutrientes minerais (Lepsch, 2002). As descobertas de Liebig iam de encontro à teoria do húmus desenvolvida por Tahaer e von Wullfen, ainda no início do século XIX, na qual as plantas assimilariam dos restos orgânicos, diretamente do solo, os nutrientes indispensáveis (Chagas, 2007). As bases do pensamento de Liebig para solucionar os problemas de fertilidade nos solos agrícolas foram publicadas em 1840, sob o título “Organic chemistry in its application to agriculture and physiology”. Nesta obra, Liebig postulou as leis básicas de adubação e propôs o uso de fertilizantes inorgânicos (Chagas, 2007). Por volta de 1845 surgiram na Inglaterra os primeiros fertilizantes comerciais, formados por uma mistura de cinzas vegetais, gesso, ossos calcinados, silicato de potássio e sulfato de amônio (Smil, 2000). A agricultura mundial entraria num novo ciclo, no qual a fertilização inorgânica seria um dos pilares mais importantes.

Mais de um século após o desenvolvimento dos primeiros fertilizantes comerciais, um novo momento na história, a revolução verde, iria provocar profundas modificações no setor agrícola. Os defensores da revolução verde acreditavam que seria possível erradicar a fome no mundo com o uso massivo de herbicidas, inseticidas, fungicidas, sementes geneticamente melhoradas e mecanização intensa. Hoje, mais de cinquenta anos depois, esse objetivo ainda não foi alcançado. Estimativas da Organização Mundial para Agricultura e Alimentação apontavam para os anos 1995/97 aproximadamente 800 milhões de pessoas vítimas da fome no mundo (FAO, 1999). Além disso, o passivo herdado do modelo produtivista da revolução verde apresenta severas conseqüências ambientais (Lutzemberg, 2001). A perda da capacidade produtiva dos solos, a contaminação dos recursos hídricos, dos agricultores e o êxodo rural foram bastante acentuados a partir desse período.

Atualmente, a questão que relaciona a segurança alimentar e o uso de recursos de origem não renováveis para a produção de insumos agrícolas tem chamado atenção. Algumas estimativas sugerem que, se o consumo de minerais como as rochas fosfatadas não diminuir, em menos de cem anos o mundo começará a enfrentar problemas para a produção de alimentos (Abelson, 1999). Isso tem maior importância para países como o Brasil, porque os solos, na maioria intemperizados, apresentam baixa disponibilidade de nutrientes. Outro exemplo é a obtenção de amônia, base para a produção de fertilizantes nitrogenados. Embora o N_2 seja o principal componente na atmosfera, a molécula de dinitrogênio apresenta uma tripla ligação muito forte, sendo necessária para sua cisão $945,4 \text{ kJ mol}^{-1}$ nas condições ambiente (Emsley, 1998). Toda a produção de amônia no mundo está atrelada à queima de combustíveis fósseis, uma vez que as principais matérias-primas utilizadas hoje para a sua produção são derivadas do petróleo (Chagas, 2007).

No início de um novo século, será preciso repensar a concepção de modernização agrícola já que o termo “moderno” fica empobrecido se estiver relacionado somente à utilização de produtos tecnológicos, tais como fertilizantes cada vez mais concentrados e híbridos mais produtivos. O avanço agrônômico não deve ser balizado pela produtividade das lavouras, mas pela eficiência com que os recursos são utilizados e pelo ganho social. Nesse sentido, práticas tão antigas quanto a própria agricultura, tais como a utilização de matéria orgânica para a fertilização dos solos, ressurgem agora como alternativas importantes.

2.2. Considerações sobre a matéria orgânica do solo

A matéria orgânica representa uma mistura heterogênea de compostos orgânicos de origem animal, vegetal e microbiana (Mahieu et al., 1999) que tem origem na fixação do CO_2 atmosférico pelos processos fotossintéticos. No solo, ela apresenta-se como um sistema complexo, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos de diversas naturezas e pela transformação contínua sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos (Camargo et al. 1999). Esses resíduos, ao serem depositados no solo, sofrem inicialmente decomposição parcial pela mesofauna e, posteriormente, ação decompositora dos microrganismos. Parte do C presente é liberada para a atmosfera como CO_2 ,

parte irá ser reassimilada por organismos e o restante passa a fazer parte da matéria orgânica estabilizada (Bayer e Mielniczuk, 1999).

O estudo da matéria orgânica envolve a sua subdivisão em três compartimentos: os resíduos orgânicos, formados pelo material vegetal e/ou animal não decomposto; a biomassa viva do solo, que se refere ao material orgânico presente no protoplasma de microrganismos e o material humificado, que consiste nos compostos orgânicos presentes no solo, excluindo-se material vegetal e animal não decomposto e matéria orgânica viva no solo (Guerra e Santos, 1999).

Em especial nas regiões tropical e subtropical, muitas características que costumam ser usadas para expressar a fertilidade dos solos, tais como a disponibilidade de nutrientes, a capacidade de troca de cátions (CTC), a complexação de elementos tóxicos, a redução da energia de adsorção de fosfato e a formação de agregados, possuem relação direta com matéria orgânica (Raij, 1969; Roth e Vieira, 1983; Siqueira et al., 1990; Reeves, 1997; Bayer e Mielniczuk, 1999; Novais e Smith, 1999; Yagi et al., 2003).

O interesse no uso da matéria orgânica com a finalidade de fertilização dos solos ressurgiu de maneira mais intensa a partir década de 1970, quando o mundo experimentou uma grande crise energética ocasionada pela elevação no preço do petróleo. Com a crise, os fertilizantes industriais, produzidos utilizando-se derivados do petróleo, tornaram-se caros e escassos, impedindo o seu acesso a muitos produtores. Tornou-se necessário pesquisar fontes alternativas de fertilizantes que não empregassem derivados petroquímicos na sua produção. Da mesma forma, esse período foi marcado pela retomada de movimentos agrícolas de cunho ecológico, por meio das diferentes escolas ligadas ao ramo da Agroecologia, que buscavam adaptar a agricultura ao ambiente e eliminar a dependência das propriedades rurais dos insumos preconizados pela revolução verde.

Uma das práticas estabelecidas e defendidas por esses movimentos é a utilização de fontes renováveis de materiais para repor ao solo os nutrientes retirados pelas lavouras e assegurar uma vida microbiana intensa e rica. Nesse sentido, o uso de materiais orgânicos tais como o vermicomposto e a torta de filtro tornaram-se importantes.

2.2.1. Utilização do vermicomposto na agricultura

Na agricultura mundial, existe um movimento crescente no sentido de diminuir a aplicação de fertilizantes inorgânicos de origem não renovável, com substituição desses insumos por matéria orgânica (Arancon et al., 2005). Nesse caminho, há diversas fontes possíveis, entre as quais o vermicomposto apresenta-se potencialmente eficiente.

O vermicomposto é o produto final da ação combinada de minhocas, microflora e microfauna que vivem em seu trato intestinal, que transformam materiais orgânicos de origem animal e vegetal em compostos mais estabilizados quimicamente. Apesar de relatos que datam do período de Aristóteles “... as minhocas são o intestino da terra...” (Ávila, 1999), os estudos sobre a vermicompostagem como insumo para a agricultura se desenvolveram principalmente a partir da publicação do livro “The formation of vegetable mould through the action of worms with observations on their habits”, em 1881, por Charles Darwin. O livro chamou atenção para a importância das minhocas, e, conseqüentemente, do produto de sua atividade – o vermicomposto; sobre a formação de uma camada superficial escurecida e enriquecida nos solos. Aspectos pedológicos, arqueológicos e agrônômicos foram abordados e o interesse no assunto foi tão grande que a publicação se tornou um “best-seller” para a época, tendo alcançado, em um mês, a venda de 3500 exemplares. O livro de Darwin despertou a atenção de cientistas europeus, norte-americanos, chineses, indianos e de outras partes do mundo, que passaram a avaliar a importância das minhocas para a fertilidade dos solos e o crescimento das plantas (Feller et al., 2003).

Mas foi no período posterior à segunda guerra mundial, em meados da década de 1940, que a vermicompostagem passou a ser considerada pelos agrônomos e agricultores como uma prática importante para a manutenção da fertilidade dos solos. Uma contribuição importante foi o desenvolvimento do programa em manejos de minhocas na estação experimental de Rothamstead, na Inglaterra (Aquino et al., 1994). Hoje, passados quase 130 anos da publicação do livro de Darwin e mais de 60 anos do início dos experimentos em Rothamstead, a popularidade e o interesse sobre a vermicompostagem aumentaram bastante, o que pode ser comprovado através de inúmeras publicações em livros, revistas científicas e em páginas especializadas na rede mundial de computadores.

O processo de vermicompostagem ocorre, basicamente, em dois estágios. Inicialmente, resíduos de origem animal e vegetal são submetidos a um processo de compostagem convencional, com o objetivo principal de reduzir a temperatura originada durante a oxidação da matéria orgânica. Após, as pilhas de material compostado recebem o povoamento das minhocas, numa fase denominada estabilização. O vermicomposto possui características químicas de pH, teor de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo que indicam a possibilidade do seu uso como adubo orgânico (Ávila, 1999; Silva et al., 2002; Yagi et al., 2003; Garg et al., 2006). Essas características, entretanto, podem variar bastante em função do substrato utilizado para o povoamento das minhocas. O Quadro 1 apresenta um resumo de algumas características químicas de vermicompostos.

Quadro 1 - Composição química média do vermicomposto	
Determinação	%
Carbono orgânico	11,5
N total	1,6
Fósforo	1,9
Potássio	0,7
Cálcio	2,5
Magnésio	0,5
Enxofre	0,6
Relação C/N	8,8

Ricci et al. (1995); Alves e Passoni (1997); Yagi et al. (2003); Garg et al. (2006).

O esterco bovino ainda é a matéria-prima mais empregada no processo de vermicompostagem, embora o fator quantidade tenha sido limitante. Em função disso, vários materiais vêm sendo utilizados para compor as pilhas a serem vermicompostadas. O tipo de resíduo, em conjunto ou não com o esterco, é bastante variável e pode ser desde lodo de esgoto urbano e bagaço de cana-de-açúcar (Silva et al., 2002; Garg et al., 2006), folhas de plantas da família das leguminosas (Aquino et al., 2005), lixo urbano (Alves e Passoni, 1997; Tognetti et al., 2007), resíduos de cozinha (Garg et al., 2006) e até lodo de esgoto da indústria do papel (Elvira et al., 1997). A utilização de determinados materiais, principalmente os resíduos industriais e de lixo urbano, merece atenção especial e sua utilização agrícola deve ser previamente avaliada. Isto porque, em sua

composição, é possível que ocorram elementos nocivos ao homem, como os metais pesados (Alves e Passoni, 1997).

A vermicompostagem acelera a decomposição da matéria orgânica, altera as propriedades físicas e químicas do material original e diminui a relação C/N (Arancon et al., 2005; Romero et al., 2007; Suszec et al., 2007), conduzindo a um processo de humificação rápido, no qual compostos orgânicos relativamente instáveis no ambiente são estabilizados nas substâncias húmicas (Almeida, 1991; Orozco et al., 1996; Romero et al., 2007). A passagem do esterco bovino pelo trato intestinal das minhocas pode aumentar em até 30% o conteúdo de matéria orgânica humificada quando comparado aos procedimentos convencionais de compostagem (Almeida, 1991). O produto final da vermicompostagem apresenta um teor de nutrientes superior ao substrato inicial (Buchanam et al., 1988), mas o seu efeito sobre o desenvolvimento das plantas vai além da simples disponibilização de nutrientes, já que pode influenciar em outras características fisiológicas das plantas (Edwards, 1995; Zandonadi et al., 2007).

A espécie *Eisenia foetida* é a mais utilizada nos programas de vermicompostagem devido à sua habilidade na conversão de resíduos, ao rápido crescimento e à sua prodigiosa multiplicação (Hartenstein et al., 1979; Aquino et al., 1994). Em áreas agrícolas, a aplicação direta de vermicomposto promove uma série de benefícios nos indicadores de qualidade de solo como o aumento da CTC e da retenção de água, elevação nos teores de nutrientes disponíveis e diminuição da acidez (Silva et al., 2002; Yagi et al., 2003; Rivero et al., 2004). Com isso, puderam ser observados aumentos na produtividade de diferentes culturas, tais como banana (Athani et al., 1999), morango (Arancon et al., 2004) e pimenta (Arancon et al., 2005). Szczech (1999) verificou que a adição de vermicomposto em doses de 10, 20, 30 e 40 Mg ha⁻¹ resultou em produtividades de tomate na ordem de 114, 138, 136 e 192 Mg ha⁻¹, bastante superiores aos 56 Mg ha⁻¹ obtidos na área sob aplicação de fertilizantes inorgânicos. Além disso, esse autor verificou redução no gradiente de infestação das plantas por *Fusarium oxysporum*, com o efeito de proteção proporcional à dose de vermicomposto aplicada. O cultivo de tomates utilizando em substratos orgânicos, como o vermicomposto, também tem reflexos na qualidade dos produtos obtidos, com aumento da quantidade de cálcio e vitamina C em

comparação a outros cultivos que utilizam exclusivamente fertilizantes inorgânicos (Premuzic et al., 1998).

2.2.2. Utilização da torta de filtro na agricultura

Alguns sistemas industriais dão origem a resíduos orgânicos que, se manejados de maneira adequada, podem proporcionar melhorias nas características físicas, químicas e biológicas quando aplicados ao solo (Silva et al., 2002). Uma referência típica é o aproveitamento de rejeitos da agroindústria sulcro-alcooleira. No processo de fabricação do açúcar, por exemplo, para cada tonelada de cana processada são gerados em média 30 kg de torta de filtro (Veiga, 2006), produzidos a partir da clarificação do caldo obtido em moenda. Nesse processo, o caldo aquecido recebe uma solução de hidróxido de cálcio e enxofre favorecendo a elevação do pH, possibilitando a floculação das substâncias orgânicas coloidais. O caldo clarificado e limpo é evaporado e o lodo, formado pelos compostos insolubilizados, após um período de decantação, segue para filtração à vácuo, onde é recuperada a sacarose ainda existente. Ao lodo mistura-se bagaço de cana finamente moído, para permitir uma consistência apropriada para a filtração à vácuo, que dá origem à torta de filtro.

A torta de filtro é um resíduo com elevado teor de matéria orgânica (Meunchang et al., 2005), composto por uma mistura de fragmentos de cana em diferentes tamanhos, sacarose, fosfatados de cálcio e partículas de solos (Samuels e Landrau Jr, 1957). Nas regiões de produção de açúcar do Brasil muitos agricultores fertilizam o solo somente com esse material, reduzindo de maneira significativa os custos com a produção. A composição química média da torta de filtro varia de acordo com a região de produção, em função de fatores associados à variedade e ao estágio fisiológico da cana processada, bem como dos materiais empregados no processo de clarificação do caldo. Um resumo com algumas características químicas de torta de filtro obtidas em diferentes regiões é apresentado no Quadro 2.

O Brasil é um dos líderes mundiais na produção de cana-de-açúcar. Na safra agrícola de 2006/07, a área colhida superou 6 milhões de hectares, com uma produção de 458 milhões de Mg. A produtividade média das lavouras foi pouco superior a 74 Mg ha⁻¹ (IBGE, 2008). O volume de cana destinado à produção de álcool e de açúcar é dependente, entre outros fatores, do preço

desses produtos no mercado internacional. Na safra 2006/07, a produção de açúcar foi superior a 30 milhões de Mg (MAPA, 2008), num histórico de aumento de produção crescente desde 2002 (Figura 1). Como cada Mg de cana processada para a fabricação de açúcar gera, em média, 30 kg de torta de filtro, a produção desse resíduo na safra 2006/07 foi superior a 920.000 Mg. Isso representa uma importante fonte de matéria orgânica que pode ser utilizada nas lavouras, o que permite o reaproveitamento dos nutrientes existentes na constituição desse material.

Quadro 2 - Composição química média da torta de filtro

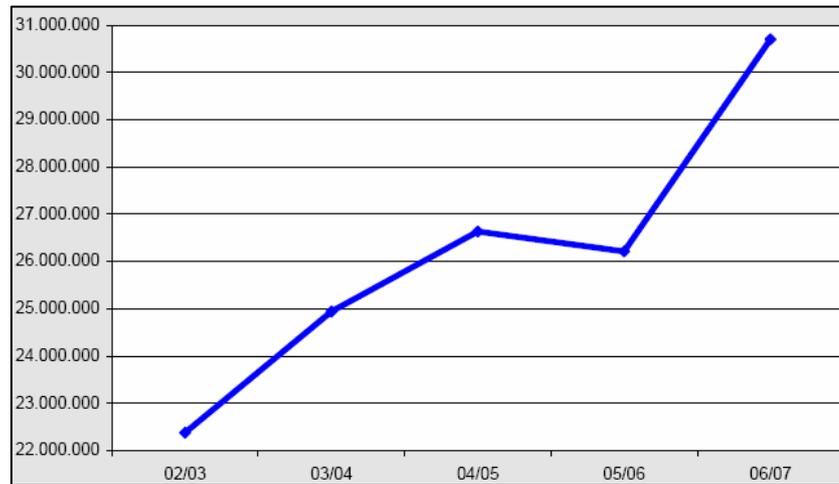
Determinação	%
pH	6,8
Carbono total	18,5
N total	1,1
Fósforo	1,1
Potássio	0,4
Cálcio	3,9
Magnésio	0,2
Enxofre	0,1
Relação C/N	16,8

Ribeiro et al. (1979); Demattê et al. (2005); Meunchang et al. (2005).

A aplicação da torta de filtro nos solos cultivados é realizada nas entrelinhas da cana-soca (40-50 Mg ha⁻¹), no sulco de plantio (15-30 Mg ha⁻¹) ou é incorporada ao solo antes do plantio (80-100 Mg ha⁻¹). Mohee e Beeharry (1999) avaliaram a aplicação anual de 5 Mg de uma mistura de bagaço e torta de filtro e verificaram aumento na altura e no número de plantas de cana por hectare, o que resultou numa produtividade 30% superior à área sem aplicação.

Em função da concentração dos nutrientes, a torta de filtro pode substituir, em condições específicas, completamente a aplicação de fertilizante fosfatado quando utilizada em doses superiores a 20 Mg ha⁻¹ no sulco de plantio (Prassad, 1976). Além disso, a aplicação em conjunto da torta de filtro com fosfatos naturais possibilita a disponibilização mais rápida do P, uma vez que foi observada a capacidade de melhorar a solubilidade destes compostos (Penso et al., 1982). Molina (1995) também sugere que a aplicação de torta de filtro ou o produto da sua compostagem incrementa significativamente, num único

ciclo de crescimento da cana, a atividade biológica, a matéria orgânica e a agregação física do solo, bem como a produtividade da cultura.



Fonte: Departamento da cana-de-açúcar e energia Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Unidade: toneladas ou Mg).

Figura 1 – Produção de açúcar no Brasil no período compreendido entre as safras de 2002/03 e 2006/07.

2.3. O papel das cargas elétricas na fertilidade do solo

Para os solos tropicais intemperizados, normalmente são observadas altas correlações entre as características relacionadas às cargas elétricas e o conteúdo de carbono (Siqueira et al., 1990). Como as reações químicas que se processam no sistema solo, muitas delas relacionadas à produção das lavouras, são em grande parte determinadas pelas cargas elétricas (Barreto, 1986), o aumento do teor de matéria orgânica pode significar melhoria nas propriedades de fertilidade.

As cargas dos colóides minerais do solo resultam de imperfeições estruturais dos cristais ou da adsorção de certos íons na superfície dessas partículas (Van Olphen, 1963). As superfícies dos colóides podem ser positivas ou negativas, isto é, contém déficit ou excesso de elétrons. Segundo Bell e Gillman (1978), baseados na distribuição de carga na superfície, os colóides do solo podem ser classificados em dois grupos: aqueles com cargas constantes ou potencial variável e aqueles com cargas variáveis ou potencial constante.

Nas regiões de clima tropical, as condições do ambiente favorecem a dissolução e lixiviação dos minerais, permitindo a formação de solos altamente intemperizados, tais como os Latossolos e os Argissolos. Grande parte desses solos apresenta, na fração argila, predominância de minerais silicatados do tipo 1:1 e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio (Chorover e Sposito, 1995; Silva et al., 1996; Fontes et al., 2001). Nesse caso, pode existir adsorção de certos íons na superfície do colóide e a carga líquida passa a ser determinada pelo íon que é adsorvido em excesso. Esses íons, que tem a propriedade de carregar positiva ou negativamente a superfície dos colóides, são denominados íons determinantes de potencial, que para os minerais do solo são geralmente H^+ ou OH^- . A presença de grupos OH^- na superfície dos óxidos e faces quebradas das partículas da caulinita faz com que a maioria absoluta das cargas seja dependente de pH, sendo, portanto, consideradas cargas variáveis (Bell e Gillman, 1978; Alleoni e Camargo, 1994). Naturalmente, em pH ácido haverá excesso de H^+ a ser adsorvido, enquanto que em pH alcalino haverá excesso de OH^- .

Embora a maior parte da paisagem brasileira possua solos com grande participação de caulinitas e ricos em óxidos de ferro e alumínio (40% dos solos brasileiros são classificados como Latossolos - EMBRAPA, 1999), também ocorrem nos trópicos solos que apresentam em sua constituição mineralógica argilas do tipo 2:1, resultando em propriedades eletroquímicas diferenciadas dos solos altamente intemperizados. Em argilas do tipo 2:1, alguns átomos de Si^{4+} dos tetraedros podem ser substituídos por Al^{3+} , bem como o Al^{3+} pode ser substituído por Mg^{2+} , Fe^{2+} ou outros cátions. A substituição do Si^{4+} (que se encontrava inicialmente neutralizando 4 cargas negativas) por Al^{3+} irá condicionar sobra de carga negativa. De maneira semelhante, uma carga negativa será gerada pela substituição de um Al^{3+} de um octaedro por um cátion Mg^{2+} . O número de cargas geradas por esse processo não é variável com alterações do pH do meio e essas cargas estão sempre operantes, pois são produto de substituições isomórficas nas estruturas dos minerais (Alleoni e Camargo, 1994; Fontes et al., 2001).

A maior parte dos solos apresenta tanto cargas de caráter variável como permanente (Anderson e Sposito, 1991). A participação dessas cargas é, conforme apresentado anteriormente, dependente da mineralogia e, conseqüentemente, do estágio de intemperismo dos solos. Para os solos mais

intemperizados, as cargas variáveis representam o potencial para a troca reversível de cátions essenciais para as plantas como o Ca^{2+} e Mg^{2+} . Já para os menos intemperizados, as cargas permanentes representam maior disponibilidade de ânions como fosfato em solução. Ambas são diretamente relacionadas à fertilidade dos solos. Avaliar a distribuição dessas cargas pode ser importante para o entendimento e previsão do destino dos elementos químicos no solo (Sposito, 1992).

Na matéria orgânica, a carga líquida é negativa e tem sua origem na dissociação de hidroxilas de grupamentos carboxílicos, fenólicos, enólicos etc. Para os solos intemperizados, a matéria orgânica representa uma fonte importante de cargas negativas. A participação da matéria orgânica sobre o efeito das cargas, entretanto, também é variável e depende do tipo de material presente no solo. Siqueira et al. (1990) observaram que o efeito da matéria orgânica no ponto onde as cargas positivas se igualam às negativas (PCZ) dependeu do grau de intemperismo do solo (índice Ki). Nesse caso, nos perfis com Ki entre 1,2 e 1,7, o decréscimo do valor do PCZ por unidade de acréscimo de C foi pequeno; naqueles com Ki entre 0,06 e 0,6, maior. Os autores também verificaram que o decréscimo do PCZ após 6 anos de adição de resíduos orgânicos ocorreu independente do tipo de resíduos.

2.3.1. Avaliação das cargas elétricas pelo método de adsorção de céσιο

Anderson e Sposito (1991) propuseram uma metodologia que permite a determinação da carga estrutural permanente com medição simultânea da carga protônica em conjunto com a adsorção de cátions e ânions. A medição da carga permanente baseia-se na seletividade que o íon Cs^+ tem com as argilas 2:1, em função da formação de complexos de esfera interna nos poros ditrigonais das superfícies siloxanas desses minerais (Anderson e Sposito, 1991; Fontes et al., 2001). Após a saturação do solo com uma solução de concentração conhecida de CsCl , as amostras são secas em estufa para aumentar a seletividade do Cs^+ no sistema. É então promovida a troca iônica com o Li^+ (LiCl) para retirar o Cs^+ dos grupos funcionais de superfície, como as hidroxilas, uma vez que o Li^+ só possui capacidade de remover o Cs^+ dos sítios de carga variável. Esses grupos exibem uma menor preferência pelo Cs^+ em relação ao Li^+ . Por último, remove-se o Cs^+ adsorvido por troca com NH_4^+ , que possui elevada

capacidade de penetrar nos poros ditrigonais das superfícies siloxanas (Anderson e Sposito, 1991).

Poucos trabalhos empregaram o método de adsorção de Cs^+ para avaliar propriedades de carga variável e permanente em solos brasileiros (Chorover e Sposito, 1995; Fontes e Sposito, 1995; Peixoto, 1995; Weber et al, 2005). Fontes e Sposito (1995) observaram que o método permite a detecção de pequenas quantidades de minerais com carga permanente mesmo em solos intemperizados, muitas vezes não detectável pela difração de raios X. Isso está de acordo com o observado por Weber et al. (2005), que verificaram a presença de cargas permanentes mesmo em Latossolos Ácricos e Acriférricos.

Algumas considerações quanto à participação da matéria orgânica na avaliação das cargas elétricas pelo método do Cs^+ devem, entretanto, ser feitas (Anderson e Sposito, 1991). Uma delas é que os AH exibem preferência para a retenção do Cs^+ sobre o Li^+ . Essa preferência pode representar uma fonte potencial de erro para o método em solos com elevado teor de matéria orgânica. Se a solução com LiCl não extrair todo o Cs^+ da matéria orgânica, o método poderá superestimar as cargas permanentes. Esses resultados foram observados por Peixoto (1997) que verificou a interferência do material orgânico na determinação das cargas em três Latossolos desenvolvidos de basalto, no estado do Paraná.

A natureza dos Latossolos estudados por Peixoto (1997) tornou possível detectar e isolar o efeito da matéria orgânica na medição de cargas pelo método de Cs^+ , extrapolando para uma condição sem matéria orgânica. Conseqüentemente, foi possível estimar a carga negativa variável e permanente do mineral, além da carga negativa da matéria orgânica. Os resultados indicaram que a carga permanente efetiva do mineral foi responsável por 43% da carga total do mineral no Latossolo Roxo caulínítico, 40% no Latossolo Roxo ferruginoso e 26% no Latossolo Roxo sésquico. Portanto, em solos naturalmente ricos em matéria orgânica ou naqueles onde o manejo permite o seu acúmulo, a avaliação dos resultados das cargas elétricas pelo método de adsorção de Cs^+ deve levar em consideração a quantidade e a qualidade da matéria orgânica presente.

2.4. Os métodos espectroscópicos na avaliação do manejo dos solos

Ainda que a estimativa da quantidade de matéria orgânica do solo seja um procedimento simples e rotineiramente realizado em laboratórios de fertilidade do solo, sua conclusão, única e exclusiva, é limitada. Avaliar a qualidade da matéria orgânica é uma tarefa mais complexa, que exige equipamentos e técnicas sofisticadas, além de profissionais altamente especializados.

Um salto qualitativo nos estudos que envolvem a matéria orgânica foi alcançado por meio dos métodos espectroscópicos. Muitos trabalhos têm sido conduzidos em diferentes condições para avaliar o comportamento e a funcionalidade das substâncias húmicas em diferentes tipos de manejos de solos e culturas. Com o desenvolvimento de equipamentos cada vez mais sofisticados, a Ciência do Solo tem tido acesso a informações até então desconhecidas.

Entre as diferentes técnicas analíticas disponíveis para a avaliação das características químicas das substâncias húmicas, de fato, a espectroscopia na região do ultravioleta-visível (UV-vis) e a de fluorescência têm sido bastante utilizadas, demonstrando grande potencial. O uso de índices numéricos obtidos a partir dessas técnicas é relacionado qualitativamente, em certa extensão, a determinadas características estruturais das substâncias húmicas (Kononova, 1966; Chen et al., 1977). Por exemplo, a relação entre a absorvância em soluções de ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF) nos comprimentos de onda de 465 nm e 665 nm, usualmente reportada como relação E_4/E_6 , apresenta relação inversa com a complexidade e heterogeneidade das substâncias húmicas e com o gradiente de condensação aromática (Kononova, 1966).

O valor da relação E_4/E_6 independe da concentração do material húmico, mas é variável para os diferentes tipos de solos e mesmo para os manejos a que são submetidos. Por exemplo, Kononova (1966) demonstrou que solos mais intemperizados, como os Argissolos, apresentam valor da relação E_4/E_6 em torno de 5. Canellas et al. (2008a), avaliando AH de solos com diferentes estádios de intemperização, encontraram valores que variaram de 4,6 (Neossolo Litólico) até 7,3 (Argissolo Vermelho Amarelo). As diferentes frações da matéria orgânica humificada também apresentam valores variáveis da relação E_4/E_6 . Para os AH esta relação geralmente é menor que 6 e para os AF os valores são normalmente superiores a 8 (Chen et al., 1977). A magnitude desta relação também apresentaria uma relação indireta com a fertilidade dos solos. Para ambientes de

clima temperado, onde ocorrem solos naturalmente férteis, os valores observados da relação E_4/E_6 para AH são inferiores (Stevenson, 1994). Já para os Latossolos brasileiros, solos naturalmente ácidos e pobres em bases, esta relação, de forma geral, apresenta valores bem superiores a 5 (Dobbss, 2006).

A matéria orgânica dissolvida apresenta propriedades óticas e uma parte desse material absorve radiação luminosa e a reemite parcialmente sob a forma de fluorescência (Miano e Senesi, 1992; Milori et al. 2002). A absorção de um quantum de luz por moléculas que se encontram no nível energético vibracional mais baixo do estado eletrônico (estado fundamental S_0) promove a passagem dos elétrons a níveis superiores de energia. Ao retornar para o estado fundamental parte da energia absorvida é remetida. Se a energia é remetida a partir do primeiro estado singlete excitado (S_1), o fenômeno é tido como fluorescência (Skoog, 2002).

Três tipos de espectros de fluorescência podem ser obtidos: (i) Espectro de emissão: a amostra é irradiada com um comprimento de onda de excitação fixo, medindo-se a intensidade da luz reemitida em uma faixa espectral definida; (ii) Espectro de excitação: o comprimento de onda de excitação é variável enquanto que o comprimento de onda de observação (ou emissão) é mantido constante; (iii) Espectro de excitação/emissão sincronizado: são obtidos pela varredura simultânea de uma faixa espectral de comprimento de onda de excitação e de emissão apresentando um intervalo ($\Delta\lambda$) constante entre eles.

A espectroscopia de fluorescência tem sido utilizada para classificar e distinguir as substâncias húmicas de várias origens e natureza (Miano e Senesi, 1992; Chen et al., 2002). A intensidade de fluorescência foi significativamente correlacionada com a concentração de radicais livres do tipo semiquinona (CRLS), obtidos por ressonância paramagnética eletrônica (RPE), e com o grau de aromaticidade obtido por ressonância magnética eletrônica de ^{13}C (Milori et al., 2002). Os RLS são estabilizados como estruturas aromáticas complexas em AH e AF (Riffaldi e Schnitzer, 1972; Stevenson, 1994) e, por meio de sua quantificação, é possível avaliar o efeito do manejo dos diferentes tipos de solos sobre a qualidade da matéria orgânica humificada (Senesi, 1990; Martin-Neto et al., 1998). De forma geral, os resultados têm demonstrado que a adoção de manejos que favoreçam a manutenção e o acúmulo de matéria

orgânica do solo, tais como o sistema de plantio direto ou a aplicação de fontes externas de matéria orgânica, diminuem a CRLS.

Bayer et al. (2002) utilizaram a RPE para avaliar a adoção de diferentes sistemas de preparo de solo e de culturas num Argissolo Vermelho. Foi observado que o sistema com rotação de culturas associado ao plantio direto apresentou menor CRLS comparado ao plantio convencional. Avaliação semelhante foi realizada em frações granulométricas da camada superficial (0-25 mm) de um Cambissolo húmico, em Lages (SC), cujos sistemas de manejo do solo foram: preparo convencional, preparo reduzido e plantio direto (Bayer et al., 2003). O plantio direto promoveu diminuição no grau de humificação da matéria orgânica, em comparação aos solos manejados sob preparo reduzido e preparo convencional. A fração granulométrica entre 20-2 μm apresentou a maior CRLS e a menor largura de linha do sinal de RPE, consistente com o maior grau de humificação da matéria orgânica e maior interação da matéria orgânica com a fração mineral, em relação às partículas menores. Modificações estruturais nos AH isolados de solo sob aplicação de lodo de esgoto também foram verificadas por Gonzáles-Pérez et al. (2006). Foi observado que as doses de lodo correspondente a 14 e 28 Mg ha^{-1} resultaram em decréscimo acentuado da CRLS. Os autores atribuíram a diminuição da humificação à incorporação de material orgânico com componentes menos aromáticos originados do lodo.

Os resultados obtidos por esses métodos têm sido avaliados, ao longo dos últimos anos, sob a consideração de que as substâncias húmicas são estruturas macromoleculares, cuja evolução química resulta em maior participação de C aromático, maior tamanho e peso moleculares (menor E_4/E_6) e menor acidez total (Stevenson, 1994). A proposta mais aceita recentemente, entretanto, considera as substâncias húmicas não como macromoléculas, mas associações de moléculas heterogêneas estabilizadas por interações hidrofóbicas, no qual a estrutura macromolecular é somente aparente (Piccolo et al., 1996). A estabilização da matéria orgânica incluiria uma auto-agregação progressiva de biomoléculas e uma interação hidrofóbica dos componentes orgânicos parece representar a principal causa da bio-resistência das substâncias húmicas (Piccolo, 2002). Assim, os AH comporiam uma mistura heterogênea de moléculas com grande variação de massa que representam, macroscopicamente, um arranjo supramolecular. Esse arranjo forma

um agregado húmico que, por sua vez, pode colapsar em função das condições da solução (i.e. pH baixo e força iônica elevada). Já nos AF as pequenas unidades estruturais moleculares são tão carregadas eletricamente que afastam a possibilidade de um arranjo supraestrutural desenvolvido, não permitindo a sua floculação com a alteração das condições do meio.

O aumento da característica de hidrofobicidade da matéria orgânica (aumento do teor de ácidos húmicos) estaria associado à melhoria nas condições de fertilidade do solo. Canellas et al. (2008b) verificaram aumento das formas disponíveis de nitrogênio, fósforo e enxofre num solo cultivado com cana-de-açúcar sob preservação da palha durante longo tempo, associado ao maior caráter hidrofóbico da matéria orgânica. Esses resultados foram atribuídos à proteção dos componentes contendo esses nutrientes pela associação de moléculas polares derivadas da degradação de plantas e atividade microbiana.

A hipótese principal do presente trabalho é que ocorre um aumento relativamente rápido do caráter hidrofóbico da matéria orgânica após a adição de adubos orgânicos. Com isso, seria observado maior teor de AH e maior disponibilidade de nutrientes, sugerindo melhoria na fertilidade do solo. Se confirmada essa hipótese, o passo seguinte seria tentar associar as características da matéria orgânica com o fornecimento de nutrientes pela decomposição de resíduos orgânicos e estabelecer novos indicadores de fertilidade do solo, principalmente para modelos de agricultura ecológicos.

Objetivo Geral

Avaliar os efeitos da aplicação de diferentes doses de adubos orgânicos sobre a disponibilidade de nutrientes, a distribuição das cargas elétricas e as características da matéria orgânica em dois solos da região Norte Fluminense.

Objetivos Específicos

Estudar ao longo de dois anos a dinâmica de liberação de nutrientes e a distribuição das frações humificadas da matéria orgânica num Latossolo Amarelo Eutrófico típico e num Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico que receberam doses equivalentes a 0, 40, 80 e 120 Mg ha⁻¹ de vermicomposto ou torta de filtro, utilizados neste experimento como adubos orgânicos;

Determinar o comportamento das cargas elétricas negativas estruturais e variáveis nos solos após a adição de 40 Mg ha⁻¹ de torta de filtro;

Estudar as características químicas e espectroscópicas dos AH após a adição do vermicomposto e da torta de filtro utilizando a distribuição das frações humificadas, o teor de C e N dos AH, a espectroscopia de ultravioleta-visível (UV-vis) e a ressonância paramagnética eletrônica (RPE).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Coleta das amostras

Para avaliar o efeito da aplicação de adubos orgânicos sobre a disponibilização de nutrientes, a dinâmica das cargas elétricas permanentes e variáveis e as características químicas e espectroscópicas dos AH foram coletadas amostras superficiais (0 - 0,20 m) de dois solos típicos da paisagem Norte Fluminense: um Latossolo Amarelo Eutrófico típico e um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico, ambos localizados no município de Campos dos Goytacazes.

O clima da região é caracterizado como tipo Aw do sistema Köpen: quente e úmido, com estação chuvosa no verão e estação seca acentuada no inverno. O cenário agrícola da região é dominado pelos canaviais, com pouca utilização de insumos industriais. A escolha dessas classes de solos ocorreu em função da sua ampla distribuição na região e também por serem solos com propriedades químicas diferentes.

3.2. Obtenção dos adubos orgânicos

A torta de filtro utilizada na montagem do experimento foi cedida pela Usina Paraíso, uma das 8 usinas sulcroalcooleiras ainda em atividade na região (Veiga, 2006). Esse material, proveniente dos processos de remoção de sólidos em suspensão no caldo destinado à produção de açúcar, foi produzido na safra agrícola de 2004 e ficou estocado em pátio aberto durante 1 ano.

O vermicomposto foi produzido com a decomposição de esterco bovino utilizando-se minhocas da espécie *Eisenia foetida*, popularmente conhecidas como vermelhas da Califórnia. Inicialmente, a pilha de esterco fresco permaneceu no campo por aproximadamente 30 dias, sendo umedecido semanalmente e revirado a cada 15 dias. Após esse período, o material compostado foi colonizado com as minhocas numa proporção aproximada de 1000 minhocas por m³. O material não foi mais revirado, sendo umedecido semanalmente. A coleta do vermicomposto foi realizada aproximadamente 100 dias após o início do processo, quando a pilha de esterco não apresentava as características da matéria-prima original.

Uma parte da torta de filtro e do vermicomposto foi utilizada no ensaio de incubação nos solos. Outra parte foi utilizada para a caracterização química e para a extração das suas substâncias húmicas. A composição elementar dos AH isolados dos adubos orgânicos foi determinada num analisador automático Perkin-Elmer 1420. Os espectros de absorção de UV-vis foram observados num espectrofotômetro Shimadzu 8300, acoplado ao computador para gravação de espectros. A faixa examinada para o ultravioleta foi de 200 a 350 nm e de 350 a 700 nm para a região do visível. A acidez total [Ba(OH)₂] e a carboxílica [Ca(OAc)₂] foram determinadas de acordo com Schnitzer e Gupta (1965). A acidez fenólica foi obtida pela diferença entre a acidez total e a carboxílica.

3.3. Montagem do experimento

Em casa de vegetação, os solos receberam doses equivalentes a 40, 80 e 120 Mg ha⁻¹ de vermicomposto ou de torta de filtro. Os solos com os adubos orgânicos adicionados foram acondicionados em vasos de cerâmica não perfurados com capacidade de 10 dm³, constituindo esta a unidade experimental. O experimento foi conduzido ao longo de dois anos, sendo realizadas irrigações semanais.

Para medir o efeito da aplicação dos adubos orgânicos ao longo do tempo foram realizadas cinco coletas: T₀ (instalação do experimento), T₁ (90 dias), T₂ (180 dias), T₃ (360 dias) e T₄ (720 dias). O experimento obedeceu a um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, organizados num esquema fatorial (2 x 2 x 4 x 5), sendo: dois solos (Latosolo Amarelo Eutrófico típico e Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico), duas fontes de matéria

orgânica (vermicomposto e torta de filtro), quatro doses (0, 40, 80 e 120 Mg ha⁻¹) e cinco épocas de coleta (0, 90, 180, 360 e 720 dias). Uma síntese dos tratamentos avaliados está apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 - Descrição dos tratamentos			
Solo	Adubo orgânico		Coleta de amostras dias
	Vermicomposto	Torta de filtro	
	dose (Mg ha ⁻¹)		
Latossolo	0	0	
Latossolo	40	0	
Latossolo	80	0	
Latossolo	120	0	
Latossolo	0	40	
Latossolo	0	80	
Latossolo	0	120	0, 90, 180, 360 e 720
Cambissolo	0	0	
Cambissolo	40	0	
Cambissolo	80	0	
Cambissolo	120	0	
Cambissolo	0	40	
Cambissolo	0	80	
Cambissolo	0	120	

3.4. Análises químicas de rotina

Foram determinados: pH (H₂O, 1:2,5); P e K (H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹, 1:10); Ca, Mg e Al trocáveis (KCl 1,0 mol L⁻¹, 1:10); H + Al (CaOAc 0,5 mol L⁻¹, em pH 7, 1:7,5) e S-SO₄²⁻ (CaH₂PO₄ 0,01 mol L⁻¹). O teor de carbono foi determinado pelo método do dicromato de potássio. O pH foi determinado por meio da leitura em potenciômetro, na suspensão de solo e água. Os teores de P foram obtidos por colorimetria, após a formação do complexo fósforo-molibdênio, na presença de ácido ascórbico como redutor. A determinação do K⁺ foi realizada por meio do método de fotometria de chama. Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ foram obtidos por espectrofotometria de absorção atômica e o Al³⁺ por titulação com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹, em presença de azul de bromotimol. Para o SO₄²⁻, a determinação foi realizada por turbidimetria. A soma de bases (SB) foi obtida a partir dos teores de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺ e a CTC em pH 7,0 por meio da soma de S com a acidez potencial (H+Al). A determinação da composição granulométrica foi obtida pelo método da pipeta. Os procedimentos analíticos estão descritos em EMBRAPA (1997).

3.5. Ponto de carga zero

O ponto de carga líquida protônica zero (PCLPZ), aqui considerado como ponto de carga zero (PCZ), foi determinado para os dois solos empregados no experimento. Para isso, amostras de 4 g de cada solo foram transferidas para 45 recipientes tipo “snap-cap”, ordenados em três fileiras de 15. Foram adicionados 10 mL de solução de NaCl a 0,1; 0,01 e 0,001 mol L⁻¹, respectivamente nas fileiras I, II e III. Nos recipientes de número 1 até 7, foram adicionados 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 mL de HCl 0,1 mol L⁻¹. Nos recipientes de número 9 até 15 foram adicionados 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹. O recipiente número 8 recebeu somente a solução salina. Adicionou-se água destilada em cada recipiente até completar o volume para 20 mL. Os recipientes foram deixados em equilíbrio durante aproximadamente 4 horas, com agitações ocasionais. Posteriormente, foram determinados os valores de pH das suspensões e calculadas as adsorções de H⁺ e OH⁻. As quantidades de H⁺ e OH⁻ adicionadas foram plotadas contra o pH sendo considerado o PCZ o ponto de interseção das três curvas.

3.6. Análise mineralógica das frações argila, silte e areia por difração de raios X

Amostras dos dois solos foram submetidas a um tratamento prévio para a remoção de cátions divalentes e da matéria orgânica presentes. Em tubos de centrífuga de 200 mL, foram adicionadas as amostras de solo e 100 mL de acetato de sódio 1,0 mol L⁻¹. O material foi ocasionalmente agitado, permanecendo, posteriormente, em repouso durante uma noite. Após esse período, os tubos foram centrifugados (3000 rpm, durante 30 min.), descartando-se o sobrenadante. Esse procedimento foi repetido outras duas vezes. Ao resíduo remanescente nos tubos de centrífuga foram adicionados 15 mL de H₂O₂ (30%) e gotas de HCl 1 mol L⁻¹. Os tubos foram transferidos para banho-maria (70 °C) até a remoção completa da matéria orgânica.

As amostras foram submetidas à dispersão química com NaOH 0,001 mol L⁻¹, em proveta com capacidade para 1 L. A separação da fração areia foi realizada por peneiramento úmido e as frações silte e argila, por sedimentação com base nos cálculos da Lei de Stocks (EMBRAPA, 1997). A fração argila, após sucessivos recolhimentos por sifonação, foi floculada com a adição de KCl 0,1 mol L⁻¹, gota a gota. À argila extraída foram adicionados 25 mL

de álcool etílico, procedendo-se uma agitação manual, centrifugação (2000 rpm durante 20 min) e descarte do material sobrenadante. Esse procedimento foi repetido outras duas vezes. Procedimento semelhante foi realizado empregando-se acetona. O material foi seco em estufa até peso constante e triturado em almofariz.

A avaliação mineralógica foi realizada nas amostras não orientadas das frações areia, silte e argila, por difração de raios X (DRX), entre 5 e 80 °2 θ , em varredura passo-a-passo (0,02 °2 θ /5s). Foi utilizado um difratômetro Rigaku modelo RU200B provido de ânodo rotatório de cobre, filtro de níquel e cristal monocromador de grafite.

3.7. Cargas elétricas de caráter variável e permanente nos solos

A determinação das cargas elétricas negativas permanentes e variáveis foi realizada utilizando-se uma adaptação do método de adsorção de Cs⁺, proposto inicialmente por Anderson e Sposito (1991). Essa metodologia baseia-se na afinidade que o íon Cs⁺ apresenta pelos sítios de troca permanente presentes nos minerais silicatados. Foram pesados 2,0 g de cada amostra de solo, transferindo para tubo de centrífuga de 50 mL. Foram adicionados aos tubos 20 mL de solução de CsCl 0,01 mol L⁻¹, com posterior agitação por 30 min e centrifugação a 3000 rpm. As soluções sobrenadante foram descartadas e o procedimento repetido outras 14 vezes.

Aos tubos com o solo remanescente, foram adicionados 20 mL de etanol (EtOH) a 95% (v/v), para a remoção do Cs⁺ não adsorvido às cargas permanentes ou variáveis. Os tubos contendo o solo e o etanol foram agitados em vórtex e centrifugados (30 min, 3000 rpm), descartando-se as soluções sobrenadante. Esta operação foi repetida até que nenhum cloreto fosse detectado pelo teste de AgNO₃ 1,0 mol L⁻¹. Em seguida, as amostras permaneceram em estufa de circulação forçada de ar forçado, à temperatura de 65 °C, durante um período de 48 h, para a formação de complexos de esfera interna entre o Cs⁺ e as superfícies siloxânicas (Anderson e Sposito, 1991). Após, o material foi triturado utilizando-se almofariz, transferindo 0,5 g do material macerado para tubos de centrífuga de 50 mL. Para deslocar os íons Cs⁺ dos grupamentos funcionais ionizáveis, as amostras foram suspensas em 25 mL de solução de LiCl 0,01 mol L⁻¹, agitadas por 30 min e em seguida centrifugadas (30 min, 3000 rpm), sendo o sobrenadante

transferido para balões volumétricos de 100 mL. O volume dos balões foi completado utilizando-se LiCl 0,01 mol L⁻¹. Na seqüência, foi extraído o íon Cs⁺ dos sítios de carga permanente, adicionando-se ao solo remanescente 15 mL da solução de NH₄OAc 1,0 mol L⁻¹. As suspensões foram agitadas por 30 min, centrifugadas (3000 rpm) e também transferidas para balões volumétricos de 100 mL. Esse procedimento foi repetido quatro vezes, combinando todas as soluções extraídas com NH₄OAc 1,0 mol L⁻¹, num volume total de 60 mL de extrato. O volume dos balões também foi completado utilizando-se NH₄OAc 1,0 mol L⁻¹. As determinações de Cs⁺ nos extratos de LiCl e de NH₄OAc foram realizadas por espectrofotometria de emissão atômica em chama de acetileno, num aparelho AAS4 ZEISS.

3.8. Dosagem de carbono nas frações humificadas

O teor de C nas frações AH, AF e huminas foi determinado utilizando-se NaOH 0,5 mol L⁻¹ como extrator, numa relação solo: solvente de 1:20 (v/v). Após um período de 6 horas de agitação (125 rpm), o material foi centrifugado (3000 rpm, durante 30 minutos) e o extrato solúvel coletado em frascos tipo snap-cap. Este procedimento foi repetido até o sobrenadante apresentar coloração clara, juntando-se todos os extratos alcalinos obtidos num só recipiente. A fração alcalino-solúvel foi denominada substâncias húmicas (SH). Uma alíquota de 25 mL desta fração teve o pH ajustado até valor entre 1 – 1,5 utilizando-se H₂SO₄ 6,0 mol L⁻¹. Após, o material com pH ajustado foi centrifugado (3000 rpm, durante 30 minutos) para obtenção dos AF (solúvel) e dos AH (precipitado). O resíduo sólido resultante da extração com NaOH 0,5 mol L⁻¹ (huminas) foi recolhido, lavado com água, seco em estufa a 50° C e triturado em almofariz. A dosagem do C nas frações SH, AF e huminas foi realizada utilizando-se o seguinte protocolo: num erlenmeyer de 250 mL foram adicionados 25 mL do extrato de substâncias húmicas, 10 mL de K₂Cr₂O₇ 0,0833 mol L⁻¹ e 2,5 mL de H₂SO₄ concentrado. O material foi aquecido durante um período de 10 minutos em temperatura de 150 °C. Após o resfriamento, adicionou-se água destilada até um volume final de aproximadamente de 150 mL, 2,5 mL de H₃PO₄ concentrado e 5 gotas de difenilamina com sal de bário (1%). Foi então realizada a titulação do material utilizando-se sulfato ferroso amoniacal (0,2 mol L⁻¹). O mesmo

procedimento foi realizado para obtenção dos valores de C na fração AF. O teor de C na fração AH foi obtido pela diferença entre as SH e AF.

Para a fração huminas foram transferidos 2 g do material seco em estufa e triturados em almofariz para erlenmeyer de 250 mL e, também, foram adicionados 20 mL de $K_2Cr_2O_7$ $0,0833 \text{ mol L}^{-1}$ e 5 mL de ácido sulfúrico concentrado, com posterior aquecimento a $150 \text{ }^\circ\text{C}$. Após resfriamento, adicionou-se água até um volume de aproximadamente 150 mL, 5 mL de ácido fosfórico concentrado e 5 gotas de difenilamina com sal de bário (1%). A titulação foi realizada empregando-se o mesmo procedimento realizado para SH e AF.

3.9. Extração, purificação e determinação do C e N nos ácidos húmicos

Para as avaliações das características químicas e espectroscópicas dos AH foi realizada uma extração utilizando-se 50 g de cada amostra solo e 1000 mL de NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. O material foi agitado por um período de 16 horas a 125 rpm. Após, os recipientes permaneceram em repouso para a separação das frações solúvel (SH) e insolúvel (huminas). O extrato solúvel foi retirado por sifonação e teve o pH abaixado até 1-1,5 utilizando-se H_2SO_4 $6,0 \text{ mol L}^{-1}$. O material acidificado foi então centrifugado (3000 rpm, 30 min) para obtenção dos AH.

Para a redução das impurezas minerais e a remoção de moléculas orgânicas de baixo peso molecular, os AH foram redissolvidos e precipitados três vezes, utilizando-se KOH $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e HCl $6,0 \text{ mol L}^{-1}$, respectivamente. Após, foram adicionados aos AH 50 mL de uma solução aquosa diluída de HF e HCl (5 mL de HF e 5 mL de HCl concentrados, com volume da solução completado para 1 L com água destilada) para dissolver argilo-minerais (Guerra e Santos, 1999). Os AH foram repetidamente lavados com água destilada até teste negativo com $AgNO_3$, dialisados em membrana contra água destilada (12 a 14-kDa de exclusão) e secos por liofilização. A determinação dos teores de C e N foi realizada num analisador elementar acoplado a espectrômetro de massa (Perkin-Elmer 1420), utilizando amostras contendo de 1 a 3 mg de AH. O teor de cinzas nos AH foi obtido submetendo o material a uma temperatura de $700 \text{ }^\circ\text{C}$, durante um período de 6 horas. Os resultados apresentados ao longo da tese já estão com os teores de cinzas descontados.

3.10. Espectroscopia na região do ultravioleta-visível (UV-vis)

Os espectros de absorção de ultravioleta foram observados num espectrofotômetro Shimadzu 8300, acoplado ao computador para gravação de espectros. A faixa examinada para o ultravioleta foi de 200 a 350 nm, e de 350 a 700 nm para a região do visível. Os espectros foram registrados em solução contendo AH diluídos em NaHCO_3 $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ (20 mg C L^{-1}), com pH e força iônica ajustados para 8,0 e $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, respectivamente. Para determinar o coeficiente E_4/E_6 , a absorbância em 465 nm foi dividida pela obtida em 665 nm. Os espectros de emissão de fluorescência foram obtidos na mesma solução, utilizando-se valores de excitação fixa em 450 nm e faixa de emissão entre 330 e 500 nm, slit de 5 nm, velocidade de varredura de 120 nm min^{-1} e correção automática do espectro. Os espectros foram obtidos utilizando-se fluorímetro Hitachi F4500.

3.11. Concentração de radicais livres semiquinonas (CRLS)

As medidas de ressonância paramagnética eletrônica (RPE) para determinação da concentração de radicais livres do tipo semiquinona foram realizadas utilizando-se um espectrômetro marca Bruker EMX, operando em banda X (9 GHz), à temperatura ambiente. Para análise quantitativa, tubos de quartzo foram preenchidos com amostras de AH anotando-se as respectivas massas para normalização dos dados. Para a obtenção das áreas dos sinais, foi utilizada a aproximação $I \times (\Delta H_{PP})^2$ (Poole, 1967), em que I é a intensidade do sinal e ΔH_{PP} é a largura do sinal, tomada pico a pico. Para a determinação da CRLS, utilizou-se o método do padrão secundário com um cristal de rubi (Singer, 1959; Martin-Neto et al., 1994) e o padrão "strong pitch" da Bruker com concentração conhecida de spins. Os parâmetros experimentais foram: potência das microondas: 0,1 mW, determinada por experimento de saturação de potência; frequência de modulação: 100 kHz; amplitude de modulação: 0,1 mT; constante de tempo: 2,56 ms e tempo de conversão: 10,24 ms. As análises foram realizadas em duplicata para obtenção do desvio médio com, no mínimo, 8 varreduras.

3.12. Avaliação estatística

Os resultados dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , S-SO_4^{2-} , P, K^+ , pH, CTC e C total foram submetidos à análise de variância utilizando-se o programa estatístico

SAEG versão 5.0. Os efeitos dos fatores qualitativos (adubos orgânicos e solos) foram desdobrados em contrastes. Para os fatores quantitativos (doses de adubos orgânicos em função do tempo) foram ajustados modelos de regressão, determinando-se a significância a 1 e 5% de probabilidade. As cargas elétricas dos solos, os teores de AH e AF, a intensidade de fluorescência e a relação E_4/E_6 dos AH foram avaliados por meio de um teste de comparação de médias (Tukey 5%). Os difratogramas de raios X, o PCZ e a CRLS foram analisados de forma descritiva.

O Quadro 4 apresenta uma relação das análises realizadas, sendo apresentadas as amostras empregadas em cada avaliação.

Quadro 4 - Cronograma de análises

Análises	Época de coleta dos solos																			
	T ₀ *				T ₁				T ₂				T ₃				T ₄			
	Dose de vermicomposto ou torta de filtro (Mg ha ⁻¹)																			
	0	40	80	120	0	40	80	120	0	40	80	120	0	40	80	120	0	40	80	120
Fertilidade do solo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Teor de C e N nos ácidos húmicos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Espectroscopia de UV-VIS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fluorescência	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ressonância paramagnética eletrônica (RPE)**		X				X				X				X				X		
Fracionamento da matéria orgânica humificada	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Carga elétrica estrutural e variável***		X				X				X				X				X		

*T₀ (instalação), T₁ (90 dias), T₂ (180 dias), T₃ (360 dias) e T₄ (720 dias).

**Análises realizadas nos ácidos húmicos extraídos dos solos sem adição dos adubos e para a dose equivalente a 40 Mg ha⁻¹ de vermicomposto e torta de filtro.

***Avaliações realizadas para os dois solos utilizando-se somente a torta de filtro e uma dosagem (40 Mg ha⁻¹).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização química, eletroquímica e mineralógica dos solos

Os resultados das características químicas e eletroquímicas do Latossolo e do Cambissolo estão apresentados no Quadro 5. Uma interpretação dos resultados analíticos foi realizada de acordo com os critérios propostos por CFSEMG (1999).

O pH do solo pode ser interpretado por critérios químicos e agrônômicos. Para ambos os solos, o critério químico classifica a acidez como média, estando dentro dos limites compreendidos entre 5,1 e 6,0. Já pelo critério agrônômico, o pH foi caracterizado como baixo para o Latossolo e bom para o Cambissolo. O C orgânico e o teor de K^+ para os dois solos foram considerados médios. Já a saturação por Al^{3+} (m) e a acidez trocável (Al^{3+}) foram muito baixas. Para o Cambissolo, os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , a soma de bases (SB) e a CTC potencial foram classificados como muito bom, enquanto a saturação por bases (V) foi considerada boa. Para o Latossolo, os teores de Ca^{2+} , a SB, a CTC potencial e a saturação por bases obtiveram classificação média, enquanto o teor de Mg^{2+} foi considerado bom. A composição granulométrica do Latossolo foi de 580, 30 e 390 g kg^{-1} , respectivamente para areia, silte e argila. Para o Cambissolo, essa composição foi de 320, 310 e 370 g kg^{-1} .

O PCZ é um dos atributos mais importantes para a descrição dos diversos fenômenos eletroquímicos que ocorrem nos solos com cargas variáveis. A sua determinação pode ter correlação com alguns indicadores da fertilidade dos solos

agrícolas. Por exemplo, por meio da determinação do PCZ é possível definir se a carga superficial líquida de um solo é nula, positiva ou negativa e, assim, inferir sobre fenômenos de retenção de cátions ou de ânions. Além disso, a avaliação quantitativa da densidade de cargas também é possível utilizando o valor do PCZ (Raij e Peech, 1972; Velloso et al., 2007).

Os valores de PCZ para o Cambissolo e para o Latossolo empregados no presente trabalho foram de 4,3 e 4,7, respectivamente (Figuras 2a e b). Apesar dos solos estudados apresentarem constituição química e mineralógica diferentes (Quadro 5 e Figura 3), o valor do PCZ apresentou-se bastante próximo. Como o PCZ no sistema solo é resultante da ação combinada de minerais, dos óxidos e da matéria orgânica é possível que a proximidade dos valores seja uma atribuição da matéria orgânica. Siqueira et al. (1990) observaram correlação positiva entre o PCZ e o teor de C em diferentes Latossolos brasileiros. Esses autores também verificaram que o abaixamento do PCZ em função da matéria orgânica ocorre em dependência do grau de intemperismo, sendo que os solos com menor K_i apresentaram maior queda no PCZ. Dobbss (2006) avaliou os mesmos Latossolos que Siqueira et al. (1990) e verificou que a retirada de uma pequena quantidade de matéria orgânica solúvel ocasiona uma elevação drástica no PCZ. Isso comprova a dependência marcante que os solos altamente intemperizados apresentam em relação à matéria orgânica para a manifestação das cargas negativas. Embora o Cambissolo tenha apresentado a participação de illita tanto na fração silte quanto na fração argila (Figura 3a), o valor do PCZ foi, somente, ligeiramente superior ao Latossolo. Isso pode ser explicado pelo teor de matéria orgânica semelhante para os dois solos ($35,3 \text{ g dm}^{-3}$, para o Cambissolo, e $27,4 \text{ g dm}^{-3}$, para o Latossolo), que favorece a elevação do PCZ mesmo em solos intemperizados que não apresentem minerais do tipo 2:1 em sua composição.

Os difratogramas de raios X para as frações areia, silte e argila do Cambissolo e do Latossolo são apresentados nas Figuras 3a e b. Para o Cambissolo, foram observados sinais intensos referente à caulinita na fração argila. Ainda, outros picos referentes à goethita, ao quartzo, à gibbsita, à hematita, ao anatásio e ao rutilo estiveram presentes, embora em menor intensidade. O único mineral do tipo 2:1 verificado foi a illita, tanto para a fração argila quanto para o silte, exclusivamente para o Cambissolo. As micas (illita, biotita e muscovita), juntamente com os feldspatos, representam os principais minerais

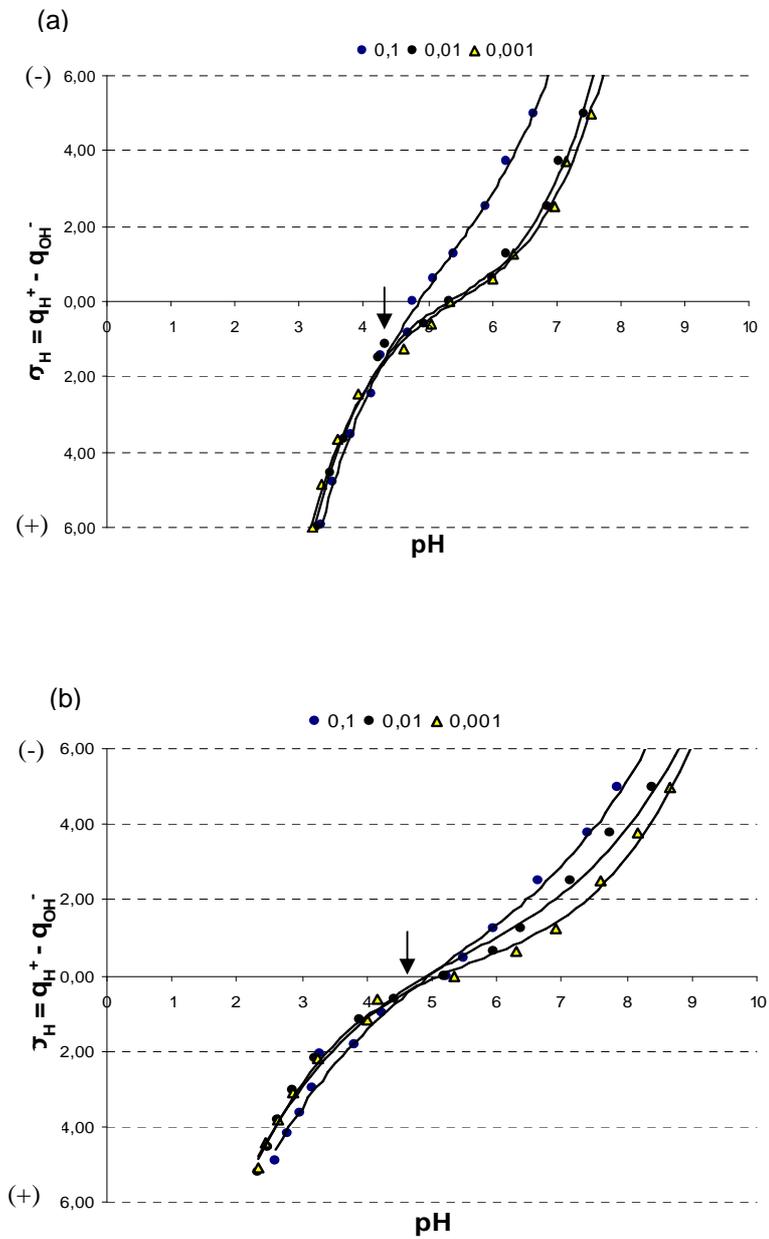
primárias fontes de nutrientes como o K^+ nos solos. Esses minerais formam, no solo, a principal reserva potássica com liberação em médio prazo (Surapaneni et al., 2002).

A presença de mineral do tipo 2:1 no Cambissolo condiciona maior superfície específica e, com isso, maior presença de sítios de troca, resultando na maior CTC desse solo. Foth (1978) observou que a CTC a pH 7,0 da Illita atinge valores próximos a $300 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$, enquanto que na caulinita, mineral 1:1, esse valor é de $80 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Além disso, como será abordado posteriormente, a presença de minerais do tipo 2:1 resulta numa densidade de carga permanente elevada. Weber et al. (2005) observaram que num Nitossolo Vermelho Eutroférico a carga permanente foi cinco vezes superior aos Latossolos ácidos. Esse resultado foi atribuído à maior presença de minerais 2:1 + minerais mal cristalizados e caulinita no Nitossolo, quando comparado aos Latossolos.

De maneira semelhante, o maior teor de matéria orgânica contribui para a maior CTC no Cambissolo. Raij (1969) verificou, em amostras superficiais de diferentes solos do estado de São Paulo, que a contribuição da matéria orgânica para a CTC foi bastante superior à participação da fração mineral, chegando a atingir 82% da CTC total. Dobbss (2006) observou que a perda de 1% de C na matéria orgânica humificada solúvel representou a redução média de 21% na CTC em diferentes Latossolos brasileiros.

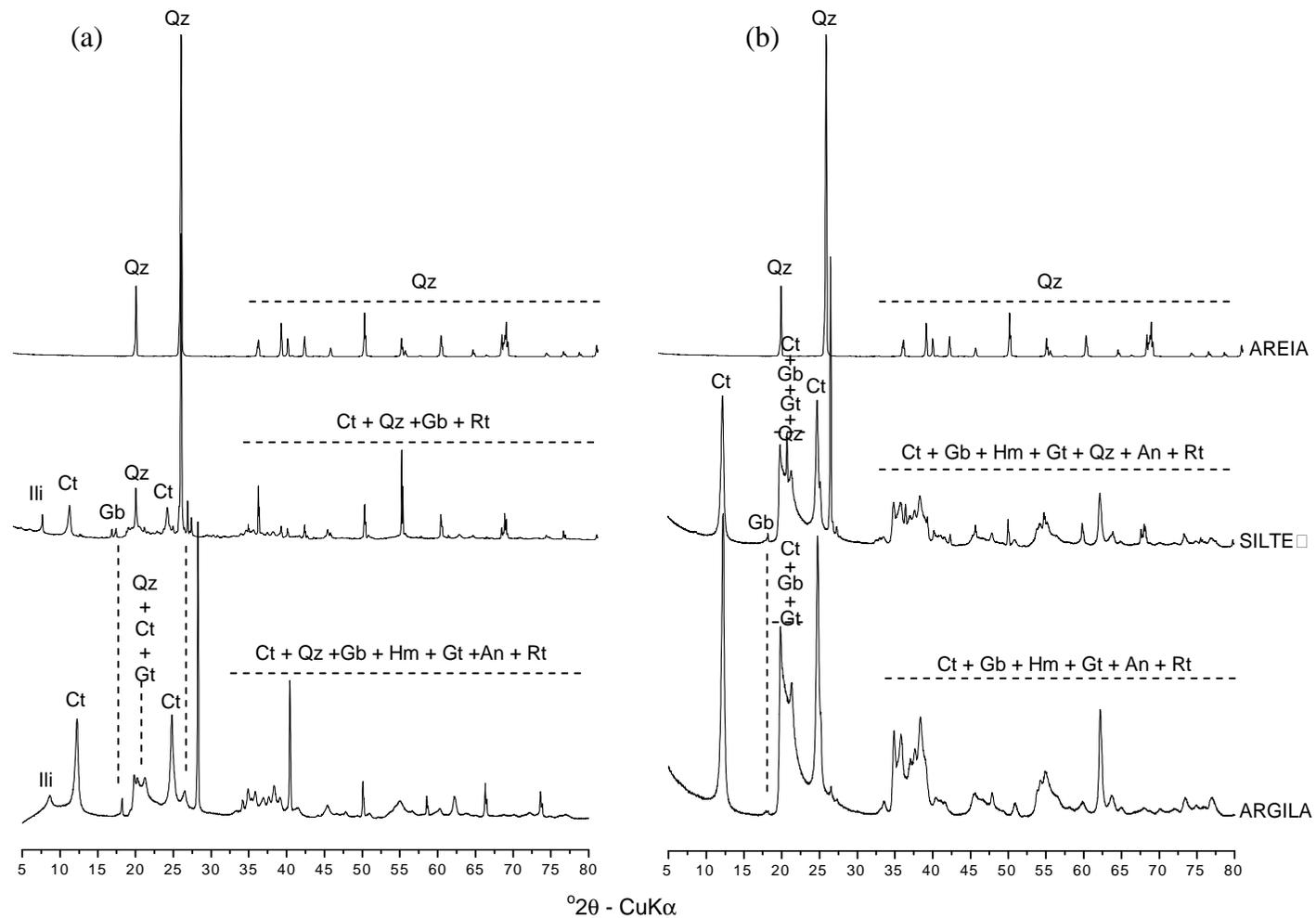
Já para o Latossolo, os difratogramas demonstraram que o único mineral silicatado presente, tanto para a fração silte quanto para a argila, foi a caulinita. Os demais sinais foram referentes à gibbsita, à goethita, à hematita e aos óxidos de titânio. A predominância de óxidos representa um estágio avançado de intemperismo, no qual uma grande parcela das bases do material de origem foi removida. De forma geral, a dominância de óxidos na fração argila dos solos intemperizados reflete menor CTC e acidez elevada. A presença de minerais do tipo 2:1 e o maior teor de matéria orgânica no Cambissolo ocasionaram uma CTC 2,4 vezes superior ao observado para o Latossolo.

Para a fração areia, o único mineral observado foi o quartzo, tanto para o Latossolo quanto para o Cambissolo. A presença de quartzo também foi observada na fração silte dos dois solos e na fração argila do Cambissolo. A elevada razão molar Si/O para o quartzo (0,5, SiO_2) confere elevada resistência ao intemperismo a esse mineral (Velloso et al., 2007).



(a) Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico; (b) Latossolo Amarelo Eutrófico típico.

Figura 2 - Determinação do ponto de carga zero em dois solos da região de Campos dos Goytacazes – RJ.



Ili = illita; Ct = caulinita; Gb = gibbsita; Qz = quartzo; Hm = hematita; Gt = goethita; An = anatásio; Rt = rutilo

(a) Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico; (b) Latossolo Amarelo Eutrófico típico

Figura 3 – Difractogramas de raios X das frações areia, silte e argila em dois solos da região de Campos dos Goytacazes – RJ.

4.2. Caracterização dos adubos orgânicos

Foi possível observar que a torta de filtro é mais rica em Ca^{2+} , SO_4^{2-} e P, quando comparada ao vermicomposto (Quadro 5). O tratamento do caldo de cana para remoção de sólidos em suspensão, no qual são adicionados enxofre e hidróxido de cálcio, justifica o maior teor desses nutrientes. O maior teor de P na torta de filtro (731 mg dm^{-3}) pode ser explicado pela presença de resíduos de folhas e bagaço no material filtrado. O P desses materiais, provavelmente em formas orgânicas, pode ter sido convertido em formas inorgânicas durante o processo de estocagem da torta de filtro, que correspondeu a um período de um ano. A ausência de Al^{3+} e os elevados teores de P, Ca^{2+} e SO_4^{2-} caracterizam a torta de filtro como um bom fertilizante. Já o vermicomposto apresentou maiores teores de K^+ , Mg^{2+} e matéria orgânica. O valor de pH apresentou-se ligeiramente menor que o da torta de filtro.

O Quadro 6 apresenta a composição elementar, as relações atômicas (C/N, H/C e O/C), a acidez total, carboxílica e fenólica e a relação E_4/E_6 dos AH isolados de torta de filtro e vermicomposto. Para a torta de filtro, os AH apresentaram teores de C, H, N e O, na ordem de 465, 57, 30 e 452 g kg^{-1} , respectivamente. No vermicomposto esses teores foram de 485, 50, 25 e 445 g kg^{-1} . Os teores de H e N estão dentro dos limites apresentados para AH isolados dos solos (Calderoni e Schnitzer, 1984; Rice e MacCarthy, 1991). Já os teores de C estão bastante abaixo do observado por esses autores que, em média, obtiveram 563 g kg^{-1} (Calderoni e Schnitzer, 1984) e 551 g kg^{-1} (Rice e MacCarthy, 1991). Também, foi observado que o teor de O, em ambos materiais, foi superior aos AH extraídos de solos, que possuem, em média, 350 g kg^{-1} (Calderoni e Schnitzer, 1984; Rice e MacCarthy, 1991). Os resultados da composição elementar de AH de lodo de estação de tratamento de esgoto (Canellas et al., 2001), entretanto, foram bastante semelhantes ao observado para a torta de filtro e para o vermicomposto. Dick et al. (1997) avaliaram algumas características dos AH extraídos de diferentes sistemas de digestão anaeróbica e observaram que, no final dos processos, os AH apresentam maior participação de C, demonstrando a relação existente entre a estabilidade química do material orgânico e o teor de C.

Como a composição elementar reflete as diferentes condições de formação das substâncias húmicas (Kuwatsuka et al., 1978), é possível sugerir

que a maior participação de bases na torta de filtro (Quadro 5) e o maior período de tempo entre a produção do material e a sua avaliação química auxiliaram a formação de matéria orgânica mais estabilizada nesse resíduo. Isso pode ser observado também pela menor relação C/N da torta de filtro (15,5) que se encontra próxima aos valores de materiais estabilizados (em torno de 14,0). Para o vermicomposto, essa relação foi superior, na ordem de 19,4. De acordo com Garcia et al. (1991) elevados teores de C e N nos AH são também indicativos de um material mais estabilizado. Com esses resultados é possível concluir que os AH extraídos da torta de filtro apresentaram-se mais evoluídos quimicamente quando comparado aos do vermicomposto. Surpreende, entretanto, os elevados teores de O nos dois materiais, que foram bastante superiores ao observado tanto para solos como para outros resíduos orgânicos estabilizados (Calderoni e Schnitzer, 1984; Rice e MacCarthy, 1991; Dick et al., 1997; Canellas et al., 2001).

A relação molar H/C é uma medida indireta das características estruturais dos AH (Canellas et al., 2005). Quanto menor o valor da relação, mais acentuado é o caráter aromático do carbono. Os resultados encontrados indicaram valores de 0,12 e 0,10, respectivamente para a torta de filtro e para o vermicomposto. Ácidos húmicos isolados de outros materiais orgânicos, como composto de lixo urbano (Campitelli et al., 2006), lodo de esgoto (Canellas et al., 2001) e lodo orgânico originado da fabricação de celulose (Dick et al., 1997), exibiram maiores valores da relação H/C. No presente estudo, a pequena diferença obtida entre os dois materiais não permitiu uma diferenciação conclusiva em relação à aromaticidade dos AH utilizando a relação atômica H/C.

A análise dos grupamentos funcionais permite avaliar a reatividade das substâncias húmicas. Essa reatividade pode interferir diretamente em muitas características relacionadas à fertilidade dos solos e, também, na presença de elementos tóxicos, uma vez que a presença de carga negativa dependente de pH confere habilidade às substâncias húmicas de participar da maioria das reações na solução do solo. Entretanto, a participação dos grupamentos funcionais nos AH não é homogênea, sendo influenciada pelo tipo de solo, pelo clima e pelo manejo agrícola aplicado (Canellas et al., 2001; Bayer et al., 2002; Dobbss, 2006). No caso de resíduos orgânicos, o processo de humificação e o tipo de material

empregado também podem interferir na quantidade dos grupamentos fenólicos e carboxílicos (Landgraf et al., 1999).

Os AH da torta de filtro apresentaram acidez total, fenólica e carboxílica maiores que os observados para o vermicomposto, embora estes possuam maior teor de O na composição elementar. Também é possível observar que os AH da torta de filtro apresentaram acidez fenólica superior à carboxílica, com valores na ordem de 3940 e 3510 mmol_c kg⁻¹, respectivamente. Isso pode refletir numa forte interação da torta de filtro com o material mineral do solo principalmente no caso do Latossolo, onde as hidroxilas são grupamentos de grande importância para os fenômenos de superfície. Nesse caso, é de se esperar que a adição de torta de filtro resulte em menor participação das cargas positivas originadas da superfície mineral, em função da ocupação desses sítios pelas cargas negativas da matéria orgânica. Com isso, é esperada menor adsorção de ânions, resultando na maior disponibilidade de nutrientes como P. Para o vermicomposto, a acidez total foi de 5890 mmol_c kg⁻¹, a carboxílica de 3040 mmol_c kg⁻¹ e a fenólica, 2850 mmol_c kg⁻¹. Nesse caso, foi observada uma participação equilibrada entre os componentes de acidez, ou seja, cada grupamento correspondeu a aproximadamente 50%.

A relação E_4/E_6 é determinada pela razão entre a absorvância da suspensão de AH em comprimentos de onda de 465 e 665 nm. Segundo Kononova (1966) esta relação pode ser empregada como uma medida indireta da evolução das substâncias húmicas, uma vez que, em teoria, o gradiente de aromaticidade aumenta juntamente com a elevação da humificação, enquanto o valor de E_4/E_6 diminui. Chen et al. (1977), entretanto, reportaram que esta relação está relacionada ao tamanho e massa molecular das substâncias húmicas e não diretamente ao gradiente de aromaticidade dessas substâncias. Recentemente, Saab e Martin-Neto (2007) avaliaram a condensação aromática de AH por RMN ¹³C e verificaram correlação significativa com a relação E_4/E_6 , indicando que esta técnica pode ser utilizada na avaliação da condensação de cadeias aromáticas. Apesar das controvérsias na utilização da relação E_4/E_6 como indicador da evolução dos AH, esta técnica é, ainda hoje, bastante empregada para avaliar as características das substâncias húmicas em diferentes tipos de solos e manejos devido à sua facilidade de realização.

O Quadro 6 apresenta os valores da relação E_4/E_6 para os AH isolados da torta de filtro e do vermicomposto. Para solos, normalmente são observados

valores menores que 5 para os AH e entre 6 a 8,5 para os AF (Kononova, 1982). Canellas et al. (2001) avaliaram AH extraídos de lodo de estação de tratamento de esgoto e de composto de lixo urbano e encontraram valores dentro desta faixa, embora o autor tenha sugerido que para resíduos orgânicos fossem esperados valores superiores. Para os AH isolados da torta de filtro, a relação E_4/E_6 esteve dentro da faixa observada para os solos. Já para os AH do vermicomposto, o valor de 6,5 foi típico de materiais com baixo grau de condensação aromática e sugere a maior presença de estruturas alifáticas (Stevenson, 1994). Os resultados obtidos pela espectroscopia de UV-vis dão suporte aos da composição elementar e à relação C/N, ou seja, AH isolados da torta de filtro apresentaram maior grau de evolução química. Isso ocorreu, como já mencionado, provavelmente em função do maior teor de bases na torta de filtro e do período de tempo entre a produção deste resíduo e a sua avaliação.

Quadro 5 - Composição química da torta de filtro, do vermicomposto e de dois solos do município de Campos dos Goytacazes – RJ

Resíduo	C	MO	pH	P	S-SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	V	m
	.....g dm ⁻³		H ₂ O	.....mg dm ⁻³.....		.....mmol _c dm ⁻³.....		.....mmol _c dm ⁻³.....			.....mmol _c dm ⁻³%.....	
Torta de filtro	64,0	110,3	6,0	731	980	16,8	203,5	50,0	0,0	35,3	271,6	306,9	88	0
Vermicomposto	71,2	122,8	5,8	559	115	37,4	89,5	95,4	3,0	81,8	249,3	331,10	75	1
¹ Latossolo	15,9	27,4	5,2	4,7	7,3	1,6	17,3	14,8	1,3	33,3	34,3	67,6	50,7	4
² Cambissolo	20,5	35,3	5,5	12,0	20,7	1,5	58,7	46,8	1,2	51,6	109,5	161,1	67,7	0,7

¹Latossolo Amarelo Eutrófico típico.

²Cambissolo Háptico Ta Eutrófico vértico.

Quadro 6 – Composição elementar, relações C/N, H/C e O/C, acidez total, carboxílica e fenólica e relação E₄/E₆ de ácidos húmicos extraídos de torta de filtro e vermicomposto

Característica	Torta de filtro	Vermicomposto
¹ C (g kg ⁻¹)	465	485
¹ H (g kg ⁻¹)	57	50
¹ N (g kg ⁻¹)	30	25
² O (g kg ⁻¹)	452	445
C/N	15,5	19,4
H/C	0,12	0,10
O/C	1,0	0,9
³ Acidez total (mmol _c kg ⁻¹)	7450	5890
⁴ Ac. carboxílica (mmol _c kg ⁻¹)	3510	3040
⁵ Ac. fenólica (mmol _c kg ⁻¹)	3940	2850
⁶ Relação E ₄ /E ₆	3,5	6,5

¹Analisador Perkin Elmer1420; ²Diferença (100-%C-%H-%N); ³Método do Ba(OH)₂, através de titulação do excesso com HCl; ⁴Tratamento com Ca(OAc)₂ e determinação do Ac liberado com NaOH. ⁵Diferença entre Acidez total e carboxílica. ⁶Razão entre absorvância em 465 e 665 nm (Solução de 4 mg de AH em 10 mL de NaHCO₃ 0,05 mol L⁻¹).

4.3. Características químicas dos solos após a adição dos adubos orgânicos

A avaliação das propriedades químicas dos solos em resposta às diferentes doses de vermicomposto ou torta de filtro, ao longo de dois anos de acompanhamento, é apresentada por meio de equações de regressão. Os resultados da análise de variância com os termos significativos a 1 e 5% pelo teste de F são apresentados na Tabela 1A. Nas Tabelas 2A e 3A são apresentadas as significâncias para os coeficientes de regressão em função da dose e do tempo, respectivamente.

4.3.1. Efeito sobre o pH

Nos solos de regiões úmidas, a velocidade de remoção de bases trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺) é maior que a liberação de formas não trocáveis. A remoção dos cátions e um conjunto de processos químicos, físicos e biológicos conduzem ao acúmulo de Al³⁺ e H⁺. Assim, esses solos apresentam-se, comumente, bastante ácidos em toda a extensão do perfil (Velloso et al., 2007).

Especificamente para os Latossolos esse fenômeno é mais acentuado e grande parte deles apresenta acidez elevada (Weber et al., 2005; Dobbss, 2006). A aplicação de adubos industriais também gera acidez, principalmente quando

fontes de NH_4^+ são utilizadas (Havlin et al., 1999), agravando o problema já que os Latossolos são, de forma geral, bastante explorados para agricultura. A correção da acidez dos solos é normalmente realizada por meio da adição de calcário. Por outro lado, uma série de trabalhos tem também reportado a capacidade de aumento do valor de pH do solo através da aplicação de diferentes compostos orgânicos (Almeida, 1991; Yagi et al., 2003; Zhang et al., 2006).

O Quadro 7 apresenta as equações de regressão para os valores de pH em função da dose aplicada de cada adubo orgânico e a Figura 4 ilustra o comportamento do pH de acordo com o tempo de incubação. Para o Latossolo, as equações de regressão em função das doses demonstraram incrementos lineares em todas as épocas de amostragem. Na instalação do experimento, a adição de vermicomposto representou um aumento de 0,002 unidades de pH para cada Mg aplicado. Para a torta de filtro esse aumento foi ligeiramente superior, alcançando 0,003 unidades de pH (Quadro 7). Na dose equivalente a 120 Mg ha^{-1} de vermicomposto ou torta de filtro, houve uma elevação no pH de 5,2 para 5,4 e 5,5, respectivamente (Tabelas 1B e 2B), ainda na instalação do experimento.

Aumentos mais expressivos no pH do Latossolo foram observados nas amostras subseqüentes. Tanto para o vermicomposto como para a torta de filtro, após 90 e 180 dias de incubação, observou-se uma taxa de aumento de 0,004 unidades de pH para cada Mg aplicado (Quadro 7). Já nas amostras obtidas no T_3 e T_4 , independente do adubo orgânico, essa taxa foi de 0,006. Almeida (1991) avaliou a eficiência do composto orgânico associado a calcário na correção da acidez de um Gleissolo do estado do Rio de Janeiro e constatou que o efeito isolado de cada material resultou em acréscimos de 0,04 unidades de pH por Mg para o calcário e de 0,007 unidades por Mg de composto, após nove meses de aplicação dos materiais. Yagi et al. (2003) verificaram que a fertilização orgânica, em associação ou não a calagem, também aumentou o pH de um Latossolo Distrófico do estado de São Paulo. Os autores observaram que a aplicação de 50 Mg de vermicomposto foi equivalente a 2,4 Mg de calcário, após 180 dias de aplicação dos materiais. Abreu Jr et al. (2000) observaram um decréscimo de 30 a 50% na acidez potencial em um grupo de 20 solos ácidos e uma razão de substituição de 2 Mg de calcário, para cada 60 Mg de composto de lixo urbano.

O efeito mais pronunciado após 360 e 720 dias de aplicação da torta de filtro e do vermicomposto evidencia a capacidade residual dos adubos orgânicos na elevação do pH do solo, decorrente da necessidade de dissociação de grupamentos OH^- da matéria orgânica e da disponibilização de bases desses materiais para que esse processo ocorra. Isso ocorre sob a influência direta da atividade microbiana. Embora não tenham sido conduzidas avaliações a esse respeito, é possível sugerir um aumento da população de microrganismos com a oferta de compostos orgânicos, com conseqüente aumento na decomposição desses materiais ao longo do tempo. Isso explica a maior interferência dos adubos orgânicos no pH do solo nas amostras com maior período de incubação.

Após dois anos de experimento, a aplicação de 40 Mg ha^{-1} dos adubos orgânicos no Latossolo, independente da fonte, resultou em aumento de 0,6 unidades de pH (Tabelas 1B e 2B). As médias gerais do pH em função da aplicação de 40, 80 e 120 Mg ha^{-1} de vermicomposto, ao longo do tempo, foram 5,6, 5,7 e 5,9. Já para a amostra testemunha essa média foi de 5,3. Quando o Latossolo recebeu a torta de filtro, as médias do pH foram de 5,6, 5,8 e 5,9, ou seja, bastante semelhante ao observado para o vermicomposto.

Para o Cambissolo, a aplicação dos materiais orgânicos promoveu resultados distintos dos observados para o Latossolo. Enquanto para o Latossolo as equações de regressão em função da dose demonstraram efeito linear, para o Cambissolo, principalmente sob aplicação da torta de filtro, foram observadas respostas quadráticas. Nesse caso, as taxas de aumento de pH foram menores à medida que se aumentou a dose de torta de filtro. Esse comportamento também foi observado para o Cambissolo sob aplicação de vermicomposto nos tempos T_0 e T_1 e ocorreu, possivelmente, devido ao elevado teor de bases nesse solo. Além disso, o pH do Cambissolo já é bastante próximo ao dos adubos (Quadro 5), o que sugere maior resistência do solo ao aumento do pH em função da aplicação desses materiais.

O aumento do pH do solo em função da aplicação de fertilizantes orgânicos está associado ao fornecimento de bases, à formação de substâncias húmicas alcalinas durante o processo de decomposição e à complexação do Al^{3+} através das moléculas orgânicas como AF e outros ácidos de menor massa molecular (Hue et al., 1986). Entretanto, pôde-se observar que esse efeito é bastante influenciado pela mineralogia e composição química dos solos. A

resposta linear para o Latossolo sugere um efeito mais pronunciado nos solos mais intemperizados, com menor teor de bases e menor pH. Ao contrário, para o Cambissolo, esse aumento parece ser efetivo até um período aproximado de um ano, quando se observa uma tendência de estabilização e posterior decréscimo do pH, como sugere a equação quadrática. Nas amostras obtidas no T₄, para o Cambissolo, por exemplo, o pH das amostras que receberam 40 Mg ha⁻¹ de torta de filtro ou de vermicomposto foi de 5,8, enquanto que na testemunha o pH foi de 5,7 (Tabelas 3B e 4B).

Quadro 7 - Equações de regressão para o valor de pH dos solos, nos diferentes tempos, em função das doses de vermicomposto e de torta de filtro

Tratamento	Tempo	Equação	R ²
L + VC	T ₀	$\hat{y} = 5,17 + 0,002 x$	0,89
	T ₁	$\hat{y} = 5,41 + 0,004 x$	0,99
	T ₂	$\hat{y} = 5,41 + 0,004 x$	0,99
	T ₃	$\hat{y} = 5,39 + 0,006 x$	0,99
	T ₄	$\hat{y} = 5,55 + 0,006 x$	0,81
L + TF	T ₀	$\hat{y} = 5,20 + 0,003 x$	1,00
	T ₁	$\hat{y} = 5,42 + 0,004 x$	0,98
	T ₂	$\hat{y} = 5,42 + 0,004 x$	0,98
	T ₃	$\hat{y} = 5,52 + 0,006 x$	0,84
	T ₄	$\hat{y} = 5,55 + 0,006 x$	0,81
C + VC	T ₀	$\hat{y} = 5,51 - 0,001 x - 0,00002 x^2$	0,93
	T ₁	$\hat{y} = 5,61 - 0,001 x - 0,00002 x^2$	0,93
	T ₂	$\hat{y} = 5,57 + 0,002 x$	0,89
	T ₃	$\hat{y} = 5,73 + 0,003 x$	0,97
	T ₄	$\hat{y} = 5,68 + 0,003 x$	0,97
C + TF	T ₀	$\hat{y} = 5,45 - 0,002 x - 0,00002 x^2$	0,40
	T ₁	$\hat{y} = 5,59 - 0,003 x - 0,00003 x^2$	0,93
	T ₂	$\hat{y} = 5,61 - 0,001 x - 0,00002 x^2$	0,93
	T ₃	$\hat{y} = 5,75 - 0,004 x - 0,00003 x^2$	1,00
	T ₄	$\hat{y} = 5,69 + 0,005 - 0,00003 x^2$	0,84

C = Cambissolo; L = Latossolo; VC = Vermicomposto; TF = Torta de filtro.

T₀ = instalação; T₁ = 90 dias; T₂ = 180 dias; T₃ = 360 dias; T₄ = 720 dias.

O comportamento do pH ao longo do tempo foi representado por equações quadráticas, com bons ajustes, sendo o menor R² de 0,92 (Figura 4). As curvas de resposta para o Latossolo foram bastante semelhantes ao longo de todo o experimento. Após 90 dias de aplicação dos adubos, independente da dose, exceto para a testemunha, os valores de pH alcançaram classificação agrônômica boa, que vai de 5,5 até 6,0 (CFSEMG, 1999). Essa classificação foi observada até a última amostra, em 720 dias. Levando em consideração somente o fator pH, a aplicação de 40 Mg ha⁻¹ de torta de filtro ou de vermicomposto seria suficiente para manter índices agrônômicos favoráveis pelo menos até dois anos após a aplicação.

Canellas et al. (2003) e Nardi et al. (2004) verificaram que a adoção por longo tempo de manejos que beneficiam a matéria orgânica no solo ocasiona aumento do pH do solo, com valores próximos ao considerado ótimo para a maior disponibilidade de nutrientes. A aplicação dos materiais orgânicos de forma concentrada parece seguir essa tendência. Entretanto, é possível observar que a partir de 600 dias as curvas de resposta apresentam tendência de decréscimo, com exceção da dose equivalente a 40 Mg ha⁻¹ de vermicomposto. Este efeito é o resultado das reações do CO₂ com a água do solo, gerando HCO₃, da nitrificação e da oxidação do enxofre por bactérias autotróficas (Stevenson, 1994; Furtini Neto et al., 2001), que promovem a acidificação do solo. Embora as avaliações tenham se restringido ao período de 720 dias, através da tendência das curvas é possível inferir que níveis semelhantes ao da amostra testemunha sejam atingidos rapidamente. O controle do pH por meio da utilização de compostos orgânicos é, portanto, resultado da adição constante de materiais.

Ao contrário do observado para o Latossolo, a adição dos adubos no Cambissolo promoveu acidificação do pH na instalação do experimento (Figura 4). Nas amostras subseqüentes, entretanto, observou-se elevação do pH independente do material orgânico. Para a aplicação do vermicomposto é possível verificar também uma tendência de decréscimo do pH, independente da dose aplicada, aproximadamente após 550 dias. Quando a torta de filtro foi utilizada, este decréscimo foi percebido somente para a dose equivalente a 40 Mg ha⁻¹. Para as demais doses, mesmo após 720 dias de experimento não foi observado ponto de inflexão da curva.

De maneira geral, os resultados observados indicaram que a correção da acidez a partir do uso de resíduos orgânicos ocorre até um prazo aproximado de 600 dias. A partir disso, são observados decréscimos no valor de pH, o que sugere a necessidade de uma nova incorporação desses materiais. Ainda assim, a menor dose aplicada de matéria orgânica permitiu a obtenção de índices agronômicos considerados bons. Ressalva-se, entretanto, que uma importante fonte de acidificação dos solos, a exsudação de ácidos orgânicos pelas plantas, foi negligenciada. Em áreas cultivadas, espera-se que a acidificação do solo ocorra de maneira mais acentuada quando comparada aos resultados obtidos no presente trabalho.

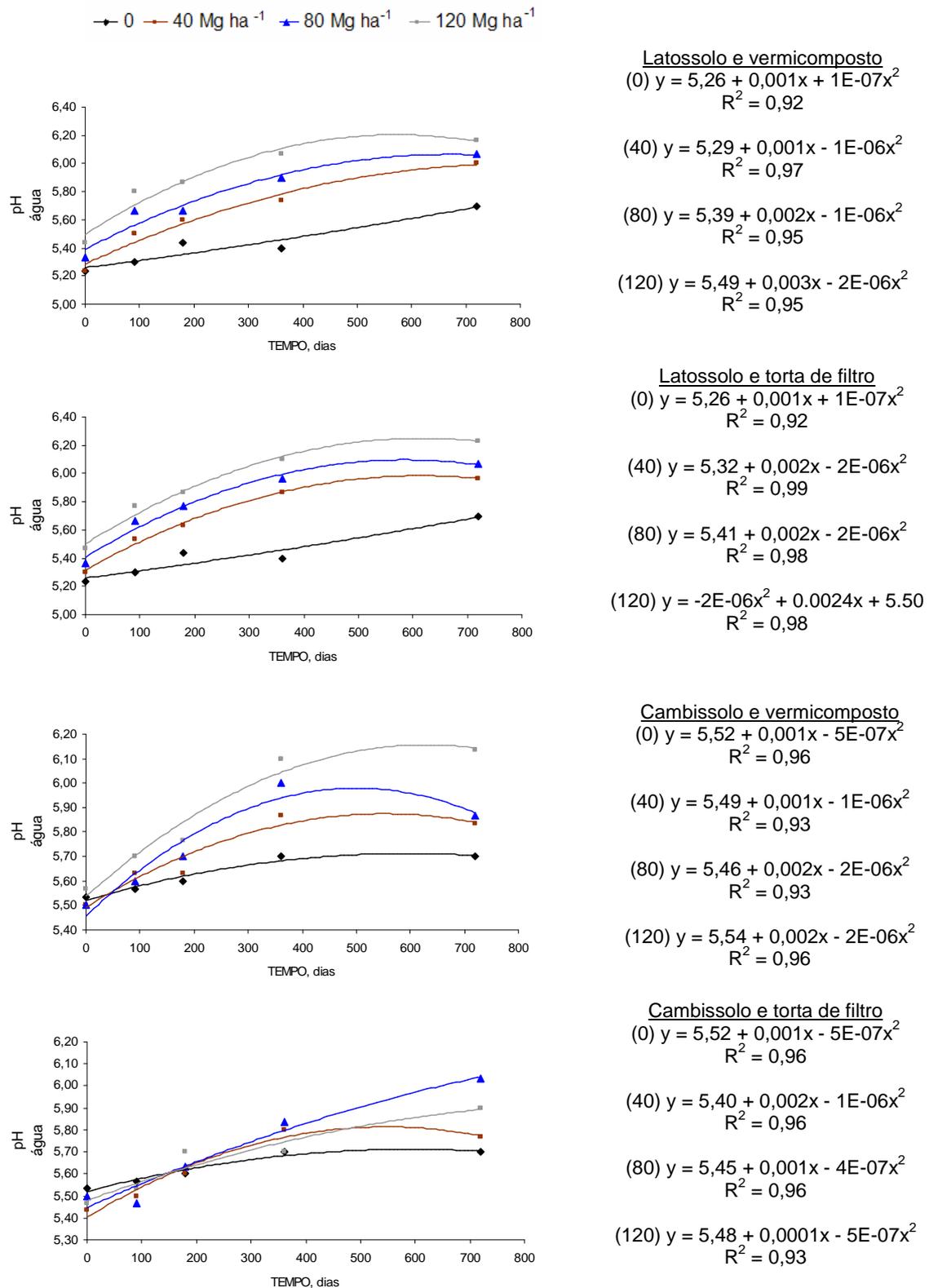


Figura 4 - Valor de pH do solo em resposta à aplicação de adubos orgânicos.

4.3.2. Efeito sobre o cálcio

As equações de regressão obtidas para os teores de Ca^{2+} em função da dose aplicada dos adubos orgânicos, para cada época de amostragem, estão apresentadas no Quadro 8. A aplicação da torta de filtro e do vermicomposto resultou em aumento linear para o teor de Ca^{2+} , já no momento da instalação do experimento. Como esperado, a torta de filtro aumentou o teor desse nutriente, independente do tipo de solo, em todas as épocas de coleta. No Latossolo, a aplicação da torta representou aumento imediato na ordem de 11,0, 20,0 e 28,5 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente para as doses 40, 80 e 120 Mg ha^{-1} (Figura 5). Cada Mg adicionou 0,223 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Ca^{2+} (Quadro 8). Para o vermicomposto também foram observados aumentos importantes, embora em menor magnitude. Para cada Mg de vermicomposto foram fornecidos 0,065 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Ca^{2+} no T_0 , ou seja, 3,4 vezes menor que o tratamento com torta de filtro. Esses valores estiveram abaixo do observado por Yagi et al. (2003) que avaliaram a adição de 70 Mg ha^{-1} de vermicomposto num Argissolo Vermelho e obtiveram uma taxa de aumento no Ca^{2+} , após 180 dias de aplicação, de 0,489 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$.

A média geral de Ca^{2+} nas amostras do Latossolo sem a aplicação dos adubos orgânicos foi de 15,4 $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$. Com aplicação da torta de filtro, essa média subiu para 22,8, 29,5 e 34,9 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente para 40, 80 e 120 Mg ha^{-1} . No caso do vermicomposto, as médias foram 16,4, 19,5 e 22,3 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$. É possível observar que a menor dose de torta de filtro atingiu uma média geral semelhante à maior dose de vermicomposto (22,8 e 22,3 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$). Todos os valores de Ca^{2+} observados para o Latossolo sob aplicação de vermicomposto são agronomicamente considerados médios (CFSEMG, 1999), incluindo a amostra sem aplicação. Já para a torta de filtro, a aplicação de 80 e 120 Mg ha^{-1} atingiu nível superior, classificado como bom.

O efeito dos adubos no Cambissolo resultou em aumentos no teor de Ca^{2+} de maneira bastante semelhante ao observado para o Latossolo, embora o teor natural desse nutriente fosse 3,4 vezes superior. No T_0 , cada Mg de torta de filtro e de vermicomposto forneceu, respectivamente, 0,293 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ e 0,064 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Ca^{2+} (Quadro 8). A aplicação da torta de filtro aumentou em 16,1, 22,3 e 37,9 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ o teor de Ca^{2+} quando comparado à amostra testemunha, ainda no T_0 (Tabela 4B). Para o vermicomposto esse aumento foi, em média, de 7,3 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$.

Uma diferença importante na dinâmica do Ca^{2+} pôde ser observada entre os dois adubos orgânicos, independente do tipo de solo. Para o vermicomposto, as amostras obtidas após 90 dias de experimento foram as que mais disponibilizaram esse nutriente, numa proporção de $0,098 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para cada Mg (Quadro 8). Já para a torta de filtro, a maior disponibilização ocorreu ainda na instalação do experimento, em T_0 , com $0,258 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para cada Mg, na média entre os dois solos. Isso pode ser o reflexo de um teor de Ca^{2+} 2,3 vezes superior na torta de filtro, resultado da aplicação de hidróxido de cálcio para a remoção de sólidos no caldo de cana. De outra forma, é possível que o Ca^{2+} presente esteja retido mais fortemente no vermicomposto, uma vez que este material apresentou maior teor de matéria orgânica (Quadro 5). Essa informação pode ser importante, principalmente, para o caso de implantação de culturas de ciclo curto, como hortaliças ou de espécies altamente exigentes em Ca^{2+} durante a fase de transplântio de mudas. Nessas situações, a aplicação antecipada do vermicomposto é sugerida, sob a forma de sincronizar a maior disponibilidade desse nutriente com a exigência da planta.

Ao longo do tempo, a dinâmica do Ca^{2+} foi representada por equações quadráticas, onde se observa o decréscimo gradativo deste nutriente independente do tipo de solo, da fonte de matéria orgânica ou da dose aplicada (Figura 5).

Para o Cambissolo, foi possível observar um ponto de estabilização das curvas num período de aproximadamente 360 dias após a aplicação dos adubos (Figura 5). A partir desse ponto, os teores de Ca^{2+} já são bastante próximos ao observado para o solo testemunha, na instalação do experimento. Isso sugere que em solos menos intemperizados e com elevado teor de Ca^{2+} , mesmo com a aplicação de grandes quantidades de matéria orgânica, os teores desse nutriente retornam rapidamente aos níveis antes da aplicação. Essa retenção do Ca^{2+} ocorre provavelmente devido à sua estabilização, juntamente com outros nutrientes, na matéria orgânica humificada, em função da sua elevada densidade de cargas negativas originada principalmente em grupamentos fenólicos. Esse Ca^{2+} retido, entretanto, poderá retornar à solução à medida que os níveis desse nutriente forem diminuindo, o que representa um efeito residual importante ao longo do tempo.

Quadro 8 - Equações de regressão para os teores de cálcio, nos diferentes tempos, em função das doses de vermicomposto e de torta de filtro

Tratamento	Tempo	Equação	R ²
L + VC	T ₀	$\hat{y} = 16,11 + 0,065 x$	0,88
	T ₁	$\hat{y} = 14,64 + 0,086 x$	0,82
	T ₂	$\hat{y} = 14,70 + 0,054 x$	0,98
	T ₃	$\hat{y} = 14,63 + 0,045 x$	0,82
	T ₄	$\hat{y} = 13,97 + 0,052 x$	0,89
L + TF	T ₀	$\hat{y} = 16,47 + 0,223 x$	0,99
	T ₁	$\hat{y} = 15,91 + 0,182 x$	0,97
	T ₂	$\hat{y} = 15,55 + 0,143 x$	0,99
	T ₃	$\hat{y} = 16,03 + 0,143 x$	0,99
	T ₄	$\hat{y} = 15,15 + 0,123 x$	0,99
C + VC	T ₀	$\hat{y} = 60,31 + 0,064 x$	0,73
	T ₁	$\hat{y} = 57,39 + 0,111 x$	0,60
	T ₂	$\hat{y} = 54,53 + 0,022 x$	0,10
	T ₃	$\hat{y} = 46,10 + 0,105 x$	0,98
	T ₄	$\hat{y} = 44,83 + 0,075 x$	0,95
C + TF	T ₀	$\hat{y} = 59,97 + 0,293 x$	0,98
	T ₁	$\hat{y} = 55,43 + 0,223 x$	0,99
	T ₂	$\hat{y} = 52,90 + 0,129 x$	0,90
	T ₃	$\hat{y} = 48,18 + 0,142 x$	0,86
	T ₄	$\hat{y} = 46,22 + 0,141 x$	0,91

C = Cambissolo; L = Latossolo; VC = Vermicomposto; TF = Torta de filtro.

T₀ = instalação; T₁ = 90 dias; T₂ = 180 dias; T₃ = 360 dias; T₄ = 720 dias.

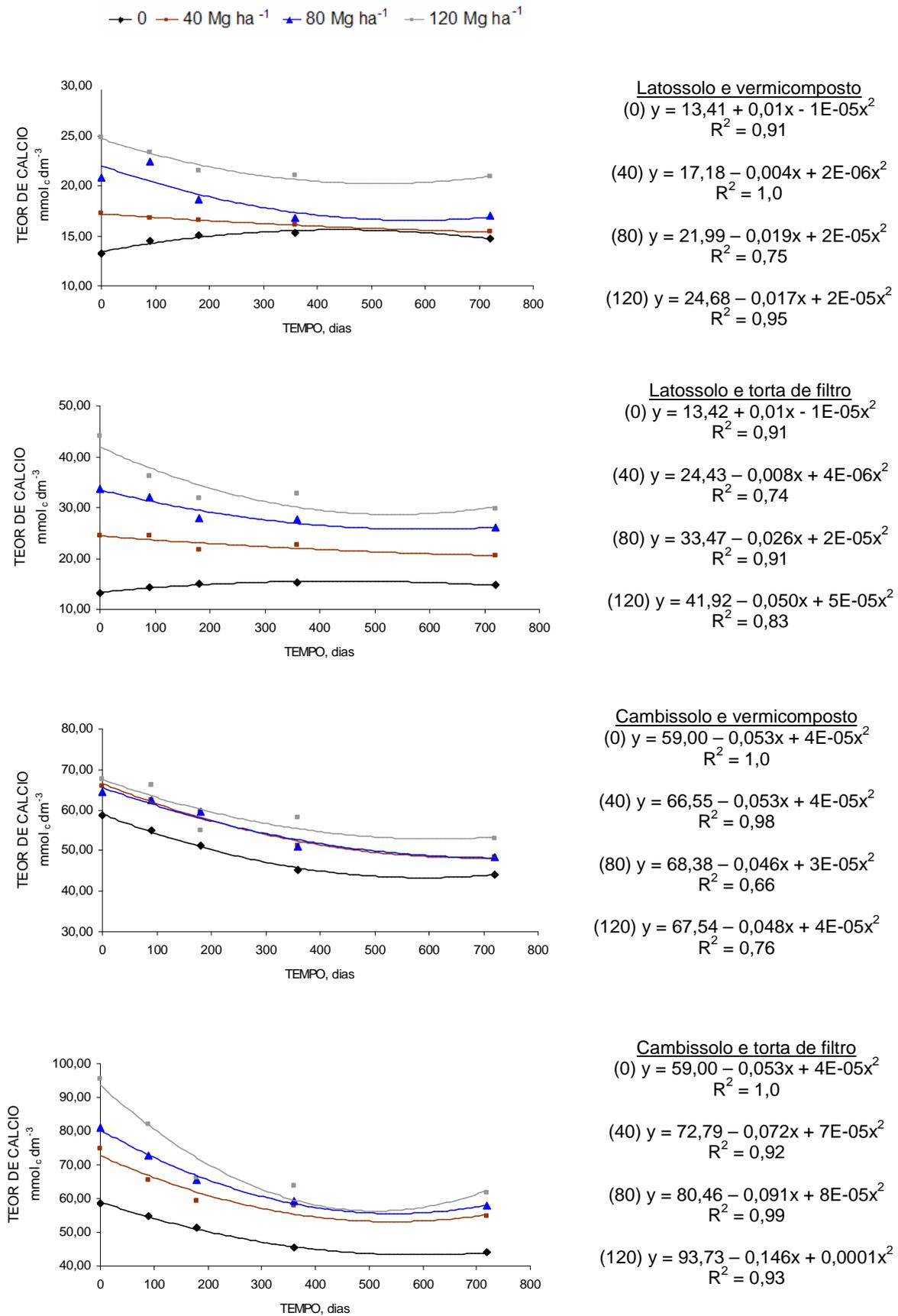


Figura 5 - Teor de cálcio em resposta à aplicação de adubos orgânicos.

4.3.3. Efeito sobre o magnésio

O Mg^{2+} é um dos macronutrientes exigidos em menor quantidade pela maioria das culturas, superando, de forma geral, somente o P e SO_4^{2-} (Malavolta, 1980). Isso faz com que quantidades muito pequenas na solução do solo, na ordem de $10 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sejam consideradas boas (CFSEMG, 1999). Deficiências nesse nutriente são observadas geralmente em solos altamente intemperizados.

Uma revisão nos trabalhos de Alves e Passoni (1997), Ricci et al. (1995) e Yagi et al. (2003) permitiu observar que a participação do Mg^{2+} no vermicomposto é, em média, mais de quatro vezes inferior à de Ca^{2+} . Já para a torta de filtro, essa proporção é mais acentuada, na ordem de 48 vezes (CFSEMG, 1999; Demattê et al., 2005; Meunchang et al., 2005).

O teor de Mg^{2+} no Latossolo, sem a aplicação dos adubos orgânicos, foi superior a $14 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo considerado bom do ponto de vista agronômico (CFSEMG, 1999). Nesse solo, a aplicação de 40 Mg ha^{-1} de vermicomposto resultou num pequeno incremento, em torno de $2,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, ainda na instalação do experimento (Tabela 1B). Já as maiores doses resultaram, ainda na instalação, em aumentos de $17,6$ e $20,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente para 80 e 120 Mg ha^{-1} . Entretanto, aproximadamente 300 dias após a aplicação do vermicomposto, os teores desse nutriente estiveram próximos ao da amostra sem aplicação e com aplicação da dose equivalente a 40 Mg ha^{-1} (Figura 6).

A maior taxa de liberação do Mg^{2+} para o Latossolo foi observada no T_0 , quando foram disponibilizados $0,192 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para cada Mg de vermicomposto. A quantidade fornecida desse nutriente foi decrescente até o T_3 , quando foi possível observar uma estabilização tanto por meio das equações de regressão em função da dose (Quadro 9) quanto pela disponibilização do Mg^{2+} ao longo do tempo (Figura 6). Após isso, os teores retornaram a valores próximos ao solo sem aplicação do adubo. Em ambientes naturais, a remoção do Mg^{2+} para camadas mais profundas do solo ocorre em decorrência da sua fraca adsorção aos colóides minerais, tanto por ser um cátion divalente quanto por possuir um raio de hidratação maior que outros nutrientes como o Ca^{2+} . A ordem preferencial de retenção ou série liotrófica é dada por: $H^+ >> Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ \sim NH_4^+ > Na^+$ (Raij, 1991; Furtini Neto et al., 2001; Velloso et al., 2007). No presente estudo, a maior parte dos grupamentos de superfície do Latossolo, provavelmente, está

ocupada pelo Ca^{2+} , o que favoreceria o transporte do Mg^{2+} para camadas mais profundas. Entretanto, é pouco provável que isso tenha ocorrido em função da quantidade de água adicionada aos vasos. Além disso, a cada amostragem, os solos dos vasos eram homogeneizados. A redução dos teores de Mg^{2+} estaria, portanto, associada à formação de uma reserva desse nutriente, que abasteceria gradativamente a solução do solo.

Até o T_3 , todas as amostras do Latossolo que receberam o vermicomposto apresentaram classificação agrônômica muito boa quanto ao teor de Mg^{2+} . No T_4 , a amostra referente à aplicação de 120 Mg ha^{-1} foi qualificada como muito boa e as demais doses, como boa.

De forma surpreendente, a aplicação da torta de filtro no Latossolo resultou em redução nos teores de Mg^{2+} , independente da dose. Isso não era esperado, uma vez que na torta são observados teores próximos a $50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Quadro 5). Como a torta de filtro apresenta um teor de Ca^{2+} superior ao vermicomposto, a proposta de ocupação dos sítios de cargas negativas por esse cátion pode também ter interferido na remoção do Mg^{2+} . O decréscimo no Mg^{2+} foi, para a maior parte das amostras, proporcional ao aumento da dose de torta de filtro, numa taxa média de $0,015 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para cada Mg de torta de filtro aplicada. Todas as amostras do Latossolo sob aplicação da torta de filtro obtiveram classificação agrônômica boa apesar de, ao final do experimento, todas terem apresentado teores de Mg^{2+} inferiores ao da amostra testemunha.

Embora a proporção entre Ca^{2+} e Mg^{2+} na torta de filtro tenha sido superior à do vermicomposto, o que em princípio poderia acarretar em problemas nutricionais às plantas, foi observado que, ao ser aplicado no Latossolo, o resíduo da cana promoveu, ao longo do experimento, relações Ca:Mg próximas a 3. No Latossolo, quando o vermicomposto foi aplicado, a média da relação Ca:Mg variou de 0,73, em T_0 , até 1,20, em T_4 . Já para a torta de filtro essa média oscilou de 2,2, na instalação do experimento, até 2,5, na última amostragem.

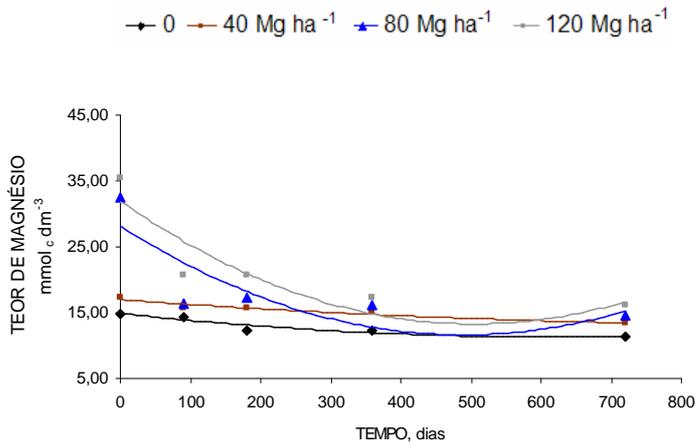
Quando o Cambissolo recebeu a torta de filtro, observou-se a diminuição dos teores de Mg^{2+} até aproximadamente 360 dias. O decréscimo médio, ao longo do experimento, foi de $0,037 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para cada Mg aplicado (Quadro 9). Entre a amostra testemunha do início do experimento e a amostra que recebeu a dose equivalente a 120 Mg ha^{-1} , no T_4 , a diferença no teor de Mg^{2+} alcançou $17,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Quadro 9 - Equações de regressão para os teores de magnésio, nos diferentes tempos, em função das doses de vermicomposto e de torta de filtro

Tratamento	Tempo	Equação	R ²
L + VC	T ₀	$\hat{y} = 13,48 + 0,192 x$	0,91
	T ₁	$\hat{y} = 13,87 + 0,049 x$	0,87
	T ₂	$\hat{y} = 12,45 + 0,068 x$	0,99
	T ₃	$\hat{y} = 12,77 + 0,039 x$	0,94
	T ₄	$\hat{y} = 11,49 + 0,040 x$	0,99
L + TF	T ₀	$\hat{y} = 14,87 + 0,006 x$	0,81
	T ₁	$\hat{y} = 13,95 - 0,011 x$	0,60
	T ₂	$\hat{y} = 12,82 - 0,012 x$	0,55
	T ₃	$\hat{y} = 12,35 - 0,019 x$	0,89
	T ₄	$\hat{y} = 11,32 - 0,016 x$	1,00
C + VC	T ₀	$\hat{y} = 44,92 + 0,161 x$	0,41
	T ₁	$\hat{y} = 42,26 + 0,059 x$	0,32
	T ₂	$\hat{y} = 34,44 + 0,072 x$	0,70
	T ₃	$\hat{y} = 27,89 + 0,124 x$	0,88
	T ₄	$\hat{y} = 33,63 + 0,082 x$	0,53
C + TF	T ₀	$\hat{y} = 44,44 - 0,077 x$	0,70
	T ₁	$\hat{y} = 38,74 - 0,064 x$	0,27
	T ₂	$\hat{y} = 31,78 - 0,024 x$	0,16
	T ₃	$\hat{y} = 26,31 - 0,016 x$	0,17
	T ₄	$\hat{y} = 31,50 - 0,003 x$	0,01

C = Cambissolo; L = Latossolo; VC = Vermicomposto; TF = Torta de filtro.

T₀ = instalação; T₁ = 90 dias; T₂ = 180 dias; T₃ = 360 dias; T₄ = 720 dias.



Latossolo e vermicomposto

$$(0) y = 14,85 - 0,011x + 9E-06x^2$$

$$R^2 = 0,90$$

$$(40) y = 16,95 - 0,008x + 4E-06x^2$$

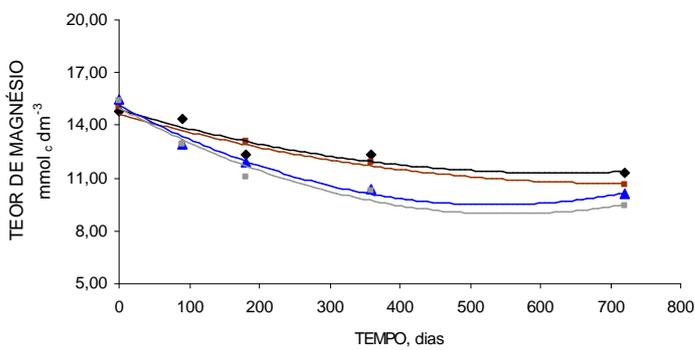
$$R^2 = 0,92$$

$$(80) y = 28,08 - 0,067x + 7E-05x^2$$

$$R^2 = 0,69$$

$$(120) y = 31,91 - 0,074x + 7E-05x^2$$

$$R^2 = 0,81$$



Latossolo e torta de filtro

$$(0) y = 14,85 - 0,011x + 9E-06x^2$$

$$R^2 = 0,90$$

$$(40) y = 14,62 - 0,011x + 8E-06x^2$$

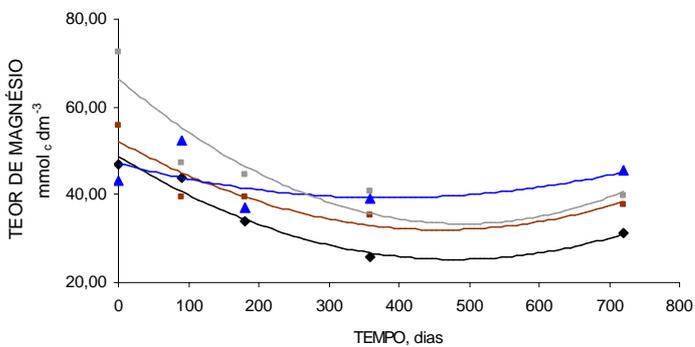
$$R^2 = 0,92$$

$$(80) y = 15,13 - 0,021x + 2E-05x^2$$

$$R^2 = 0,98$$

$$(120) y = 2E-05x^2 - 0,0217x + 14,989$$

$$R^2 = 0,96$$



Cambissolo e vermicomposto

$$(0) y = 48,67 - 0,098x + 0,0001x^2$$

$$R^2 = 0,95$$

$$(40) y = 52,15 - 0,087x + 9E-05x^2$$

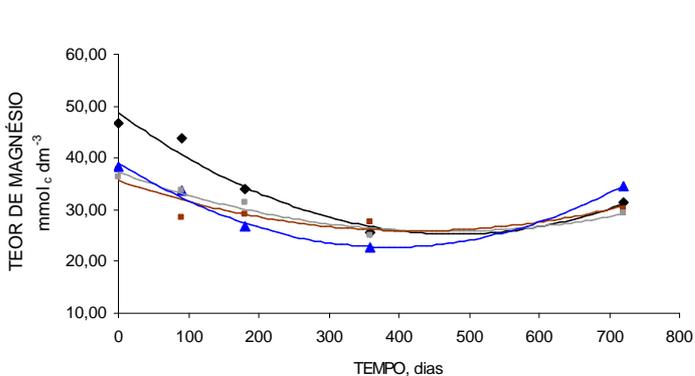
$$R^2 = 0,81$$

$$(80) y = 47,10 - 0,040x + 5E-05x^2$$

$$R^2 = 0,25$$

$$(120) y = 66,39 - 0,135x + 0,0001x^2$$

$$R^2 = 0,82$$



Cambissolo e torta de filtro

$$(0) y = 48,67 - 0,098x + 0,0001x^2$$

$$R^2 = 0,95$$

$$(40) y = 35,59 - 0,046x + 5E-05x^2$$

$$R^2 = 0,73$$

$$(80) y = 39,00 - 0,084x + 0,0001x^2$$

$$R^2 = 0,99$$

$$(120) y = 37,18 - 0,049x + 5E-05x^2$$

$$R^2 = 0,94$$

Figura 6 - Teor de magnésio em resposta à aplicação de adubos orgânicos.

4.3.4. Efeito sobre o potássio

Os teores de K^+ tanto para o Latossolo quanto para o Cambissolo foram considerados médios, estando dentro dos limites de 1,05 e 1,79 $mmol_c dm^{-3}$ (CFSEMG, 1999). As doses de vermicomposto e de torta de filtro alteraram os teores de potássio trocável no solo já nas amostras obtidas na instalação do experimento, com incrementos proporcionais à dose utilizada.

As equações de regressão para os teores de K^+ , nos diferentes tempos, em função das doses de vermicomposto e de torta de filtro, são apresentadas no Quadro 10. O maior incremento na disponibilização de K^+ ocorreu nas amostras obtidas em T_0 , independente do solo ou do tipo de adubo aplicado, com aumentos mais expressivos quando o vermicomposto foi utilizado. A aplicação das doses equivalentes a 40, 80 e 120 $Mg ha^{-1}$ de vermicomposto no Latossolo aumentou o teor de K^+ de 1,6 $mmol_c dm^{-3}$ para 3,0 4,0 e 6,4 $mmol_c dm^{-3}$, respectivamente (Tabela 1B). No caso da torta de filtro, o valor máximo de K^+ observado foi alcançado com a dose equivalente a 120 $Mg ha^{-1}$, correspondendo a 2,9 $mmol_c dm^{-3}$ (Tabela 2B). A maior dose de torta de filtro alcançou teor de K^+ semelhante à menor dose de vermicomposto (2,9 e 3,0 $mmol_c dm^{-3}$), comportamento exatamente oposto ao observado para o nutriente Ca^{2+} . A tendência de maiores teores de K^+ nos solos sob aplicação de vermicomposto é explicada pela participação 2,2 vezes superior à de torta de filtro.

A taxa de aumento do K^+ para o Latossolo sob aplicação de vermicomposto, em T_0 , foi de 0,039 $mmol_c dm^{-3}$ por Mg aplicado. Nas amostras subsequentes, essa taxa foi sendo gradativamente reduzida até atingir, em T_4 , 0,005 $mmol_c dm^{-3}$. No caso da torta de filtro, os aumentos no teor de K^+ foram menores e atingiram, no máximo, 0,011 $mmol_c dm^{-3}$ por Mg (Quadro 10). Yagi et al. (2003) verificaram aumento de 0,044 $mmol_c dm^{-3}$ por Mg de vermicomposto após 180 dias de aplicação no solo e Almeida (1991) reportou que cada Mg de composto orgânico é capaz de fornecer uma quantidade equivalente a 8,5 $kg ha^{-1}$ de K^+ . Num experimento de longo tempo de utilização de composto de lixo urbano, deHaan (1981) verificou que o K^+ oriundo desta fonte foi disponibilizado da mesma forma que em fertilizantes potássicos comerciais, inferindo sobre a eficiência de materiais orgânicos no fornecimento desse nutriente às plantas.

Do total de K^+ presente em resíduos orgânicos, uma faixa de 36 e 48% está disponível às plantas (deHaan, 1981; Soumare et al., 2003). Já para o KCl, o principal fertilizante industrial potássico, quase a totalidade do K^+ presente (58% de K_2O) está imediatamente disponível. Do ponto de vista agrônômico, entretanto, a utilização de um fertilizante altamente concentrado e solúvel parece não ser a opção mais eficaz. Kist (2005) observou que níveis ótimos de produção de soja foram alcançados quando pequenas e gradativas doses de K^+ estiveram disponíveis ao solo. O autor concluiu que a adição de grandes quantidades de fertilizantes com o objetivo de aumentar os níveis de K^+ no solo não é recomendável. Da mesma maneira, Brunetto et al. (2005) constataram que a metade da dose de K^+ recomendada foi suficiente para atingir a máxima produtividade de trigo, milho e soja em solos do Planalto do Rio Grande do Sul.

A utilização de compostos orgânicos como forma de suprimento de K^+ parece ser, portanto, uma alternativa eficiente já que a concentração desse nutriente é aumentada mesmo quando pequenas doses de compostos são adicionadas (Giusquiani et al., 1988). Além disso, como observado nas equações apresentadas no Quadro 10, a liberação do K^+ no vermicomposto e na torta de filtro ocorreu de forma gradativa. Isso acarretou em níveis de K^+ considerados bons e muito bons até as amostras obtidas em T_2 , para os dois adubos orgânicos estudados. Teores mínimos de K^+ foram observados para o Latossolo somente na última amostragem, após 720 dias de experimento.

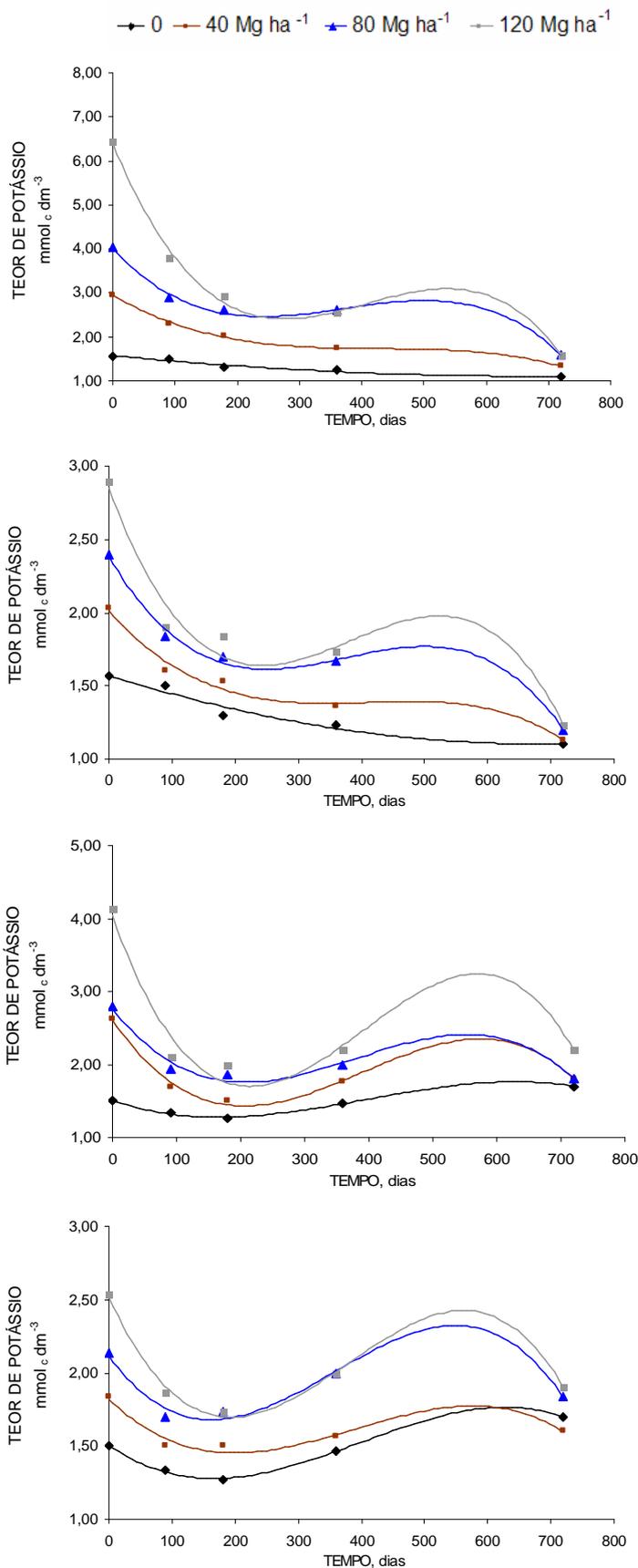
Uma dinâmica bastante semelhante foi observada para o Cambissolo após a aplicação dos adubos orgânicos. Os aumentos nos teores de K^+ foram dependentes da dose, com os maiores valores observados nas amostras que receberam o vermicomposto. Entretanto, foi possível verificar que as taxas de liberação do K^+ alcançada pelo Latossolo foram bastante superiores. Na aplicação de 120 Mg ha^{-1} de vermicomposto, por exemplo, o teor de K^+ para o Latossolo, na amostra inicial, foi de $6,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 1B). Já para o Cambissolo, esse valor foi de $4,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 3B). O efeito menos pronunciado da aplicação de adubos orgânicos sobre o teor de K^+ no Cambissolo pode ter ocorrido em função da competição com outros nutrientes pelos sítios de cargas negativas. Como já mencionado, a preferência da ocupação dos sítios que podem ser rapidamente trocados em solução irá favorecer elementos como o Ca^{2+} , presentes no Cambissolo em quantidade 3,4 vezes superior ao Latossolo.

Ao longo do tempo, exceto para o Latossolo sem aplicação dos resíduos, os melhores ajustes para as equações de regressão foram obtidos quando modelos polinomiais cúbicos foram utilizados, cujo coeficiente mínimo foi de 0,94 (Figura 7). Essa dinâmica de elevação e posterior redução no K^+ pode ser o resultado da conversão deste elemento em formas retidas com maior energia pelos colóides do solo ou nos sítios de cargas negativas da matéria orgânica. A adição ou remoções do K^+ em solução poderia favorecer a solubilização ou imobilização, num processo de tamponamento que ocorre de maneira relativamente rápida. Assim, quando níveis baixos desse nutriente são atingidos, as formas menos lábeis liberam imediatamente esse nutriente para a solução. De forma contrária, pode ocorrer a formação de uma reserva de K^+ ligado mais fortemente quando concentrações elevadas desse nutriente são encontradas em solução.

Quadro 10 - Equações de regressão para os teores de potássio, nos diferentes tempos, em função das doses de vermicomposto e de torta de filtro			
Tratamento	Tempo	Equação	R ²
L + VC	T ₀	$\hat{Y} = 1,42 + 0,039 x$	0,96
	T ₁	$\hat{Y} = 1,50 + 0,019 x$	0,99
	T ₂	$\hat{Y} = 1,37 + 0,014 x$	0,99
	T ₃	$\hat{Y} = 1,08 + 0,013 x$	0,77
	T ₄	$\hat{Y} = 1,13 + 0,005 x$	0,90
L + TF	T ₀	$\hat{Y} = 1,58 + 0,011 x$	0,99
	T ₁	$\hat{Y} = 1,49 + 0,004 x$	0,98
	T ₂	$\hat{Y} = 1,32 + 0,004 x$	0,98
	T ₃	$\hat{Y} = 1,23 + 0,005 x$	0,90
	T ₄	$\hat{Y} = 1,09 + 0,001 x$	0,80
C + VC	T ₀	$\hat{Y} = 1,55 + 0,020 x$	0,94
	T ₁	$\hat{Y} = 1,36 + 0,007 x$	0,97
	T ₂	$\hat{Y} = 1,30 + 0,006 x$	0,95
	T ₃	$\hat{Y} = 1,53 + 0,006 x$	0,99
	T ₄	$\hat{Y} = 1,65 + 0,004 x$	0,76
C + TF	T ₀	$\hat{Y} = 1,48 + 0,008 x$	0,99
	T ₁	$\hat{Y} = 1,30 + 0,005 x$	1,00
	T ₂	$\hat{Y} = 1,32 + 0,004 x$	0,98
	T ₃	$\hat{Y} = 1,49 + 0,005 x$	0,87
	T ₄	$\hat{Y} = 1,63 + 0,002 x$	0,64

C = Cambissolo; L = Latossolo; VC = Vermicomposto; TF = Torta de filtro.

T₀ = instalação; T₁ = 90 dias; T₂ = 180 dias; T₃ = 360 dias; T₄ = 720 dias.



Latossolo e vermicomposto

$$(0) y = 1,57 - 0,001x + 1E-06x^2$$

$$R^2 = 0,96$$

$$(40) y = 2,95 - 0,008x + 2E-05x^2 - 1E-08x^3$$

$$R^2 = 1,0$$

$$(80) y = 4,01 - 0,015x + 5E-05x^2 - 4E-08x^3$$

$$R^2 = 1,0$$

$$(120) y = 6,41 - 0,035x + 1E-04x^2 - 8E-08x^3$$

$$R^2 = 0,99$$

Latossolo e torta de filtro

$$(0) y = 1,57 - 0,001x + 1E-06x^2$$

$$R^2 = 0,96$$

$$(40) y = 2,01 - 0,005x + 1E-05x^2 - 1E-08x^3$$

$$R^2 = 0,98$$

$$(80) y = 2,38 - 0,007x + 2E-05x^2 - 2E-08x^3$$

$$R^2 = 0,99$$

$$(120) y = 2,85 - 0,012x + 4E-05x^2 - 3E-08x^3$$

$$R^2 = 0,97$$

Cambissolo e vermicomposto

$$(0) y = 1,50 - 0,003x + 1E-05x^2 - 1E-08x^3$$

$$R^2 = 0,99$$

$$(40) y = 2,61 - 0,013x + 4E-05x^2 - 4E-08x^3$$

$$R^2 = 0,99$$

$$(80) y = 2,76 - 0,011x + 4E-05x^2 - 3E-08x^3$$

$$R^2 = 0,97$$

$$(120) y = 4,04 - 0,025x + 8E-05x^2 - 7E-08x^3$$

$$R^2 = 0,95$$

Cambissolo e torta de filtro

$$(0) y = 1,50 - 0,003x + 1E-05x^2 - 1E-08x^3$$

$$R^2 = 0,99$$

$$(40) y = 1,82 - 0,004x + 1E-05x^2 - 1E-08x^3$$

$$R^2 = 0,94$$

$$(80) y = 2,11 - 0,006x + 2E-05x^2 - 2E-08x^3$$

$$R^2 = 0,96$$

$$(120) y = 2,52 - 0,01x + 3E-05x^2 - 3E-08x^3$$

$$R^2 = 0,99$$

Figura 7 - Teor de potássio em resposta à aplicação de adubos orgânicos.

4.3.5. Efeito sobre o fósforo

A utilização de matéria orgânica nos solos tropicais intemperizados é bastante importante no que se refere ao P. Isso porque esses solos apresentam, de forma geral, acentuada deficiência nesse nutriente, não sendo raras as citações onde ele aparece como maior limitante da produtividade. Além de fornecer P, entretanto, a aplicação de matéria orgânica pode diminuir a energia de ligação com a matriz mineral do solo. Diversos trabalhos têm reportado a eficiência dos compostos orgânicos para o fornecimento eficiente de P ao solo, com relação direta entre a dose e o teor disponibilizado (Almeida, 1991; Iglesias-Jimenez et al., 1993; Yagi et al., 2003).

A aplicação dos adubos orgânicos resultou em aumentos lineares no teor de P dos solos. As equações apresentaram bons ajustes, com R^2 mínimo de 0,86 (Quadro 11). Para o Latossolo, as equações de regressão em função da dose demonstraram efeitos lineares em todas as épocas de amostragem, com aumentos mais expressivos quando a torta de filtro foi utilizada. Nesse caso, os teores passaram de 4,7 mg dm⁻³, na amostra testemunha, em T₀, para 121,7, 238,0 e 353,0 mg dm⁻³, respectivamente para as 40, 80 e 120 Mg ha⁻¹ (Tabela 2B). Cada Mg de torta de filtro aplicado resultou num aumento de 2,903 mg dm⁻³, em T₀. Nas amostras subseqüentes essa taxa apresentou um declínio gradativo até atingir, em T₃, um índice de 1,483 mg dm⁻³.

Para as amostras de Latossolo que receberam o vermicomposto os aumentos foram menores e atingiram, no máximo, 93,7 mg dm⁻³, quando a maior dose foi utilizada (Tabela 1B). O maior teor de P foi encontrado no T₀, com incremento de 0,716 mg dm⁻³ por Mg de vermicomposto (Quadro 11). Nas demais épocas de amostragem, essa taxa decresceu até atingir, em T₄, 0,184 mg dm⁻³. Os menores incrementos para o vermicomposto ocorreram pela diferença de 172 mg dm⁻³ em relação à torta de filtro (Quadro 5). Na Figura 8, é possível verificar que, após um período aproximado de 360 dias, os teores de P nas amostras que receberam o vermicomposto assemelharam-se à amostra testemunha. Já para as amostras que receberam a torta de filtro, no mesmo período, os teores são bastante superiores à testemunha, sendo esse efeito observado ainda após 720 dias de incubação.

Segundo Iglesias-Jimenez e Alvarez (1993), a participação do P no composto orgânico tende a aumentar com o tempo, como resposta à elevação da

atividade microbiana, que, por sua vez, converte o P orgânico em formas disponíveis por meio da degradação dos compostos orgânicos como ortofosfatos diésteres e monoésteres. O tempo de espera de aproximadamente um ano entre a produção da torta de filtro e a sua utilização no experimento pode ter colaborado para aumentar o teor de P, resultando em maior disponibilização quando adicionado ao solo. Entretanto, o vermicomposto também tem sido apontado como uma importante e eficiente fonte de P para o solo e a passagem dos resíduos orgânicos pelo trato intestinal das minhocas normalmente aumenta o teor de P do produto final (Satchell e Martein, 1984; Garg et al., 2006).

Para o Cambissolo, foi observada uma dinâmica semelhante. Em T_0 , os níveis de P após a aplicação do vermicomposto passaram de $12,0 \text{ mg dm}^{-3}$ para $35,3$, $44,0$ e $70,3 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente (Tabela 3B). Já quando a torta de filtro foi adicionada, os teores foram $130,7$, $187,0$ e $324,3 \text{ mg dm}^{-3}$ (Tabela 4B), ou seja, bastante superiores às amostra com aplicação de vermicomposto. A taxa de incremento de P para cada Mg de vermicomposto foi de $0,459 \text{ mg dm}^{-3}$, enquanto que, para a torta de filtro, esse valor foi bem mais acentuado, na ordem de $2,483 \text{ mg dm}^{-3}$ (Quadro 11).

Após 720 dias, os teores de P nas amostras do Cambissolo que receberam 40 e 80 Mg ha^{-1} de vermicomposto foram bastante próximos ao solo testemunha. Já na dose de 120 Mg ha^{-1} , o teor de P foi superior, alcançando $27,3 \text{ mg dm}^{-3}$. No caso da aplicação da torta de filtro, após 720 dias, as diferentes doses aplicadas resultaram em teores 10 , 17 e 34 vezes superiores à amostra sem aplicação do adubo, respectivamente para 40 , 80 e 120 Mg ha^{-1} .

Ao longo do tempo, observou-se que a dinâmica de retenção do P foi mais acentuada quando o Latossolo recebeu o vermicomposto, uma vez que, nas amostras obtidas após um ano, os teores de P estiveram próximos ao da testemunha. Já quando o Latossolo recebeu a torta de filtro, mesmo após dois anos, os teores de P foram 24 , 54 e 64 vezes superiores à testemunha. Giusquiani et al. (1988) e Iglesias-Jimenez e Alvarez (1993) atribuíram a maior disponibilidade e a menor retenção de P, em solos sob aplicação de compostos orgânicos, à competição entre ligantes orgânicos e fosfato pelos sítios de adsorção nos óxidos metálicos, bem como à formação de complexos fosfocúmicos que podem aumentar a mobilidade de P.

Na amostra testemunha, o Latossolo apresentou teor de P considerado

baixo e o Cambissolo médio (CFSEMG, 1999). No Latossolo sob aplicação de 120 Mg ha⁻¹ de vermicomposto, todas as amostras obtiveram níveis considerados muito bons. A dose de 80 Mg ha⁻¹ obteve classificação muito boa até 90 dias e, após isso, foi considerada boa. Já a menor dose foi considerada baixa após 90 dias. No Cambissolo sob aplicação de vermicomposto, a maior dose também resultou numa classificação muito boa em todas as amostras. A dose de 80 Mg ha⁻¹ obteve classificação muito boa até 180 dias e após isso foi considerada boa. A menor dose resultou numa classificação boa até 90 dias e depois foi classificada como média.

A aplicação da torta de filtro, independente da dose, do tipo de solo ou da época de coleta das amostras, resultou numa classificação agrônômica considerada muito boa. Isso leva a conclusão que a utilização desse resíduo pode substituir completamente a necessidade de aplicação de adubos minerais fosfatados.

Quadro 11 - Equações de regressão para os teores de fósforo, nos diferentes tempos, em função das doses de vermicomposto e de torta de filtro

Tratamento	Tempo	Equação	R ²
L + VC	T ₀	$\hat{y} = 1,83 + 0,716 x$	0,97
	T ₁	$\hat{y} = 4,30 + 0,249 x$	1,00
	T ₂	$\hat{y} = 1,24 + 0,209 x$	0,96
	T ₃	$\hat{y} = 1,75 + 0,173 x$	0,98
	T ₄	$\hat{y} = 1,74 + 0,184 x$	0,99
L + TF	T ₀	$\hat{y} = 5,17 + 2,903 x$	1,00
	T ₁	$\hat{y} = 13,24 + 1,846 x$	0,98
	T ₂	$\hat{y} = 0,19 + 2,000 x$	0,99
	T ₃	$\hat{y} = 7,87 + 1,483 x$	0,97
	T ₄	$\hat{y} = -7,71 + 1,840 x$	0,99
C + VC	T ₀	$\hat{y} = 12,86 + 0,459 x$	0,97
	T ₁	$\hat{y} = 8,13 + 0,216 x$	0,95
	T ₂	$\hat{y} = 5,59 + 0,152 x$	0,96
	T ₃	$\hat{y} = 6,48 + 0,130 x$	0,98
	T ₄	$\hat{y} = 5,54 + 0,156 x$	0,86
C + TF	T ₀	$\hat{y} = 14,52 + 2,483 x$	0,98
	T ₁	$\hat{y} = 16,67 + 1,567 x$	0,98
	T ₂	$\hat{y} = 2,92 + 1,444 x$	0,99
	T ₃	$\hat{y} = 0,64 + 1,234 x$	0,99
	T ₄	$\hat{y} = -3,43 + 1,941 x$	0,96

C = Cambissolo; L = Latossolo; VC = Vermicomposto; TF = Torta de filtro.

T₀ = instalação; T₁ = 90 dias; T₂ = 180 dias; T₃ = 360 dias; T₄ = 720 dias.

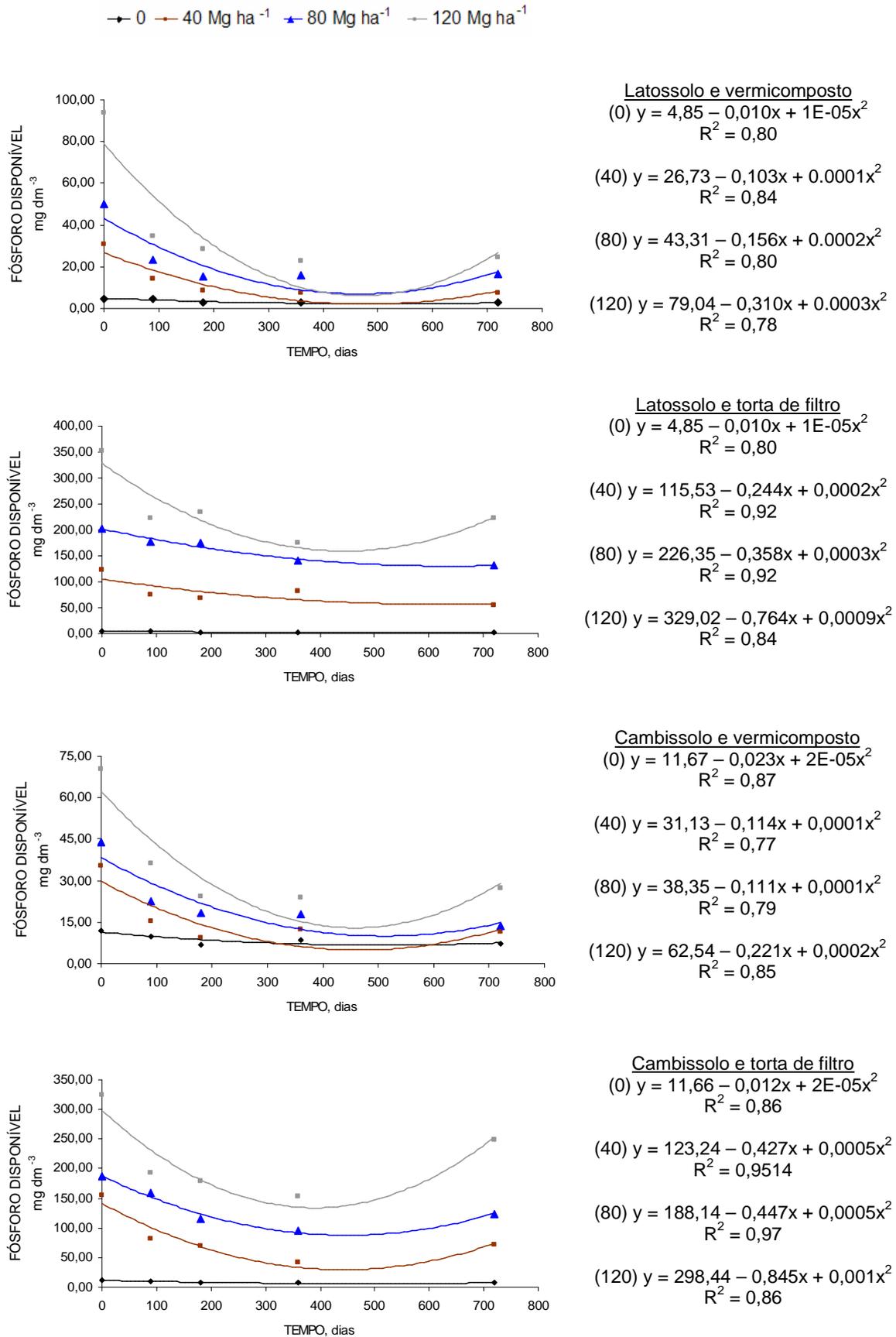


Figura 8 - Teor de fósforo em resposta à aplicação de adubos orgânicos.

4.3.6. Efeito sobre o enxofre

Nos solos que receberam a torta de filtro, foram observados os aumentos mais expressivos nos teores de SO_4^{2-} . No Latossolo, em T_0 , o teor de SO_4^{2-} passou de pouco mais de 7 mg dm^{-3} para 36,7, 68,7 e $85,3 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente para as doses de 40, 80 e 120 Mg ha^{-1} (Tabela 2B). Para o vermicomposto, os acréscimos foram mais discretos, resultando em teores de 12,0, 16,0 e $22,3 \text{ mg dm}^{-3}$ (Tabela 1B). O aumento médio a partir da aplicação da torta de filtro foi 5,9 vezes superior ao observado no vermicomposto. A taxa de incremento no solo que recebeu o vermicomposto foi de $0,123 \text{ mg dm}^{-3}$ por Mg aplicado. Já para a torta de filtro, essa taxa foi de $0,665 \text{ mg dm}^{-3}$ (Quadro 12). Para o Cambissolo, em T_0 , as taxas foram bastante semelhantes ao Latossolo e alcançaram 0,083 e $0,700 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente para o vermicomposto e para a torta de filtro.

Ao longo do tempo, foi verificada uma rápida redução do SO_4^{2-} já nas amostras obtidas em T_1 e, após 350 dias aproximadamente, os teores nos solos adubados foram semelhantes ou inferiores às amostras sem aplicação (Figura 9). O período compreendido entre 350 e 700 dias foi caracterizado pela ocorrência de níveis de SO_4^{2-} inferiores ao da amostra testemunha. Isso pode ter ocorrido em função do aumento da população microbiana, decorrente da adição dos compostos orgânicos. Os microrganismos possuem um papel importante tanto na dinâmica do enxofre como na decomposição de resíduos vegetais e animais. Lens et al. (2000) relataram que as bactérias *Thiobacillus* são consideradas de maior importância na oxidação de compostos sulfatados no solo. A maior oferta de material orgânico provavelmente aumentou a comunidade microbiana, fazendo com que uma maior parcela do SO_4^{2-} foi acessada. Uma parte deste SO_4^{2-} foi incorporada às células microbianas e retornou ao solo após a morte desses organismos, o que explica teores próximos ao da amostra testemunha no final do experimento. Nas amostras não adubadas esse aumento populacional não é esperado, o que refletiu em teores aproximadamente constantes de SO_4^{2-} ao longo do experimento.

O ânion SO_4^{2-} disponibilizado a partir da mineralização da matéria orgânica também pode ter sido adsorvido pelos colóides do solo. A reatividade dos colóides de origem inorgânica ou orgânica deve-se a presença de grupos funcionais, que expõem átomos ou grupos de átomos instáveis quimicamente,

que, em contato com a solução do solo, reagem com os íons ou moléculas dissociadas.

Algumas condições específicas do solo, entretanto, podem influenciar na adsorção do sulfato. Entre elas, o pH e o teor de fósforo estão entre as mais importantes. Segundo Kamprath et al. (1956) e Elkins e Ensminger (1971), a elevação do pH do solo diminui a adsorção do SO_4^{2-} devido à diminuição da quantidade de cargas positivas e à deprotonação dos grupos hidroxilas. Ainda, o ânion fósforo é mais fortemente adsorvido que o SO_4^{2-} , pois é mais reativo com grupos funcionais (Hingston et al., 1972). Nos óxidos de ferro, abundantes tanto no Cambissolo como no Latossolo estudados, o fósforo é adsorvido em maiores quantidades que o SO_4^{2-} a um mesmo valor de pH, indicando a grande afinidade e força da ligação do fósforo com o ferro (Parfit e Smart, 1978). Conforme pôde ser observado nos itens 4.3.1. e 4.3.5, a adição dos adubos orgânicos proporcionou aumento no pH e na disponibilidade de P nos solos e, conseqüentemente, está de acordo com as elevadas taxas de SO_4^{2-} observadas..

Após um período de 200 dias, o teor de SO_4^{2-} no Latossolo sob aplicação de 40 Mg ha^{-1} de vermicomposto foi considerado inferior ao nível crítico estabelecido por Reisenauer et al. (1973), que é de 6 mg dm^{-3} . Para as demais doses, esse limite foi alcançado após 360 dias. No caso da aplicação da torta de filtro, em função de seu maior teor de SO_4^{2-} , o nível crítico foi atingido após um período de 720 dias de experimento. Para o Cambissolo, devido ao seu teor quase três vezes superior ao Latossolo, o nível crítico não foi atingido, embora tenha ficado bastante próximo a isto, após 720 dias de experimento.

Os resultados observados sugerem que a dinâmica de diminuição nos teores de SO_4^{2-} em solos sob aplicação de adubos orgânicos é rápida. Em função disso, independente da mineralogia do solo, da dose ou da fonte de adubos orgânicos aplicados, a avaliação dos teores desse nutriente é sugerida após um período aproximado de 300 dias.

Quadro 12 - Equações de regressão para os teores de enxofre, nos diferentes tempos, em função das doses de vermicomposto e de torta de filtro			
Tratamento	Tempo	Equação	R ²
L + VC	T ₀	$\hat{y} = 7,05 + 0,123 x$	0,99
	T ₁	$\hat{y} = 6,49 + 0,034 x$	0,21
	T ₂	$\hat{y} = 4,91 + 0,025 x$	0,76
	T ₃	$\hat{y} = 4,06 - 0,001 x$	0,01
	T ₄	$\hat{y} = 1,40 + 0,006 x$	0,48
L + TF	T ₀	$\hat{y} = 9,60 + 0,665 x$	0,98
	T ₁	$\hat{y} = 9,58 + 0,132 x$	0,56
	T ₂	$\hat{y} = 3,45 + 0,215 x$	0,96
	T ₃	$\hat{y} = 2,62 + 0,133 x$	0,94
	T ₄	$\hat{y} = 0,99 + 0,049 x$	0,90
C + VC	T ₀	$\hat{y} = 20,15 + 0,083 x$	0,83
	T ₁	$\hat{y} = 14,76 + 0,053 x$	0,89
	T ₂	$\hat{y} = 13,78 + 0,002 x$	0,04
	T ₃	$\hat{y} = 9,89 - 0,015 x$	0,90
	T ₄	$\hat{y} = 6,58 - 0,003 x$	0,60
C + TF	T ₀	$\hat{y} = 23,00 + 0,700 x$	0,99
	T ₁	$\hat{y} = 22,21 + 0,335 x$	0,59
	T ₂	$\hat{y} = 12,21 + 0,203 x$	0,96
	T ₃	$\hat{y} = 7,81 + 0,112 x$	0,76
	T ₄	$\hat{y} = 6,04 + 0,030 x$	0,51

C = Cambissolo; L = Latossolo; VC = Vermicomposto; TF = Torta de filtro.

T₀ = instalação; T₁ = 90 dias; T₂ = 180 dias; T₃ = 360 dias; T₄ = 720 dias.

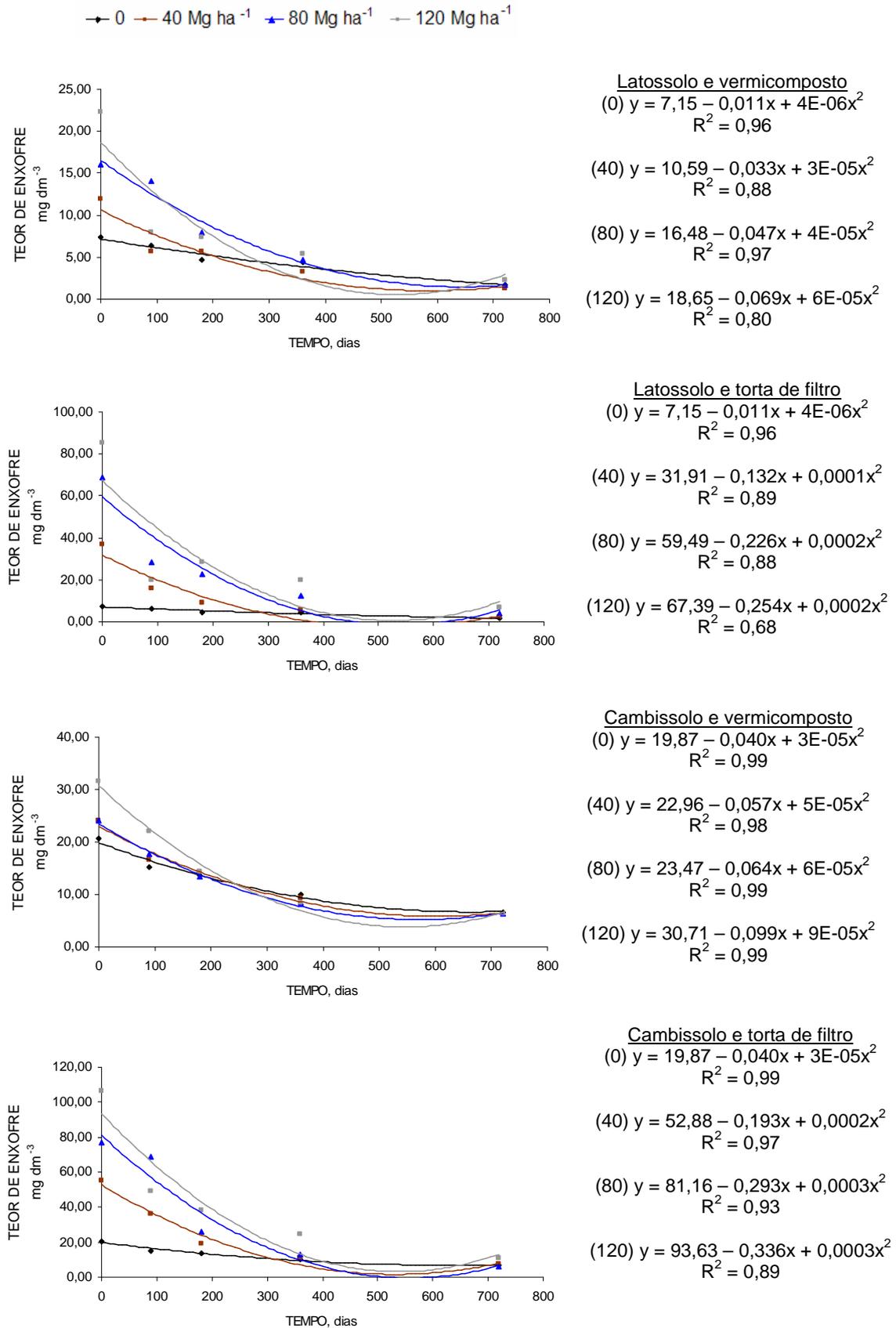


Figura 9 - Teor de enxofre em resposta à aplicação de adubos orgânicos.

4.3.7. Efeito sobre o carbono total

O teor de C é o mais importante indicador da qualidade do solo e da sustentabilidade agronômica devido ao seu impacto sobre os atributos químicos, físicos e biológicos que condicionam essa qualidade. De acordo com Robinson et al. (1996), o C orgânico e o acompanhamento da sua evolução em substâncias húmicas são os melhores indicadores individuais da qualidade do solo.

Nas regiões tropicais, níveis elevados de C nos solos ocorrem, de forma geral, somente em ambientes onde a atividade microbiana é limitada. Exemplos típicos são os Espodosolos e os Latossolos Húmicos, que apresentam camadas enriquecidas em matéria orgânica decorrente do excesso de água e das baixas temperaturas, respectivamente (EMBRAPA, 1999). Na maior parte dos solos, entretanto, a utilização agrícola conduz a uma rápida degradação da matéria orgânica, principalmente quando são utilizados rotineiramente implementos para o revolvimento do solo e a remoção de restos de culturas (Bayer e Mielniczuk, 1999). Como reflexo, são observados decréscimos nos indicadores de fertilidade desses solos, aumentando a necessidade de aplicação de adubos industrializados.

Alguns manejos agrícolas permitem que ocorra uma deposição continuada de materiais orgânicos e isso implica em melhoria dos níveis de nutrientes, em maior CTC e na formação de substâncias húmicas com maior caráter hidrofóbico (Bayer et al., 2002; Yagi et al., 2003; Nardi et al., 2004; Canellas et al., 2003; Canellas et al., 2008b). O plantio direto, o cultivo sem a utilização do fogo e a aplicação de adubos orgânicos são exemplos. Os efeitos do longo tempo de utilização do sistema de colheita de cana-de-açúcar sem a queima da palha e com a adição de vinhaça sobre o C total e sobre as frações humificadas da matéria orgânica foram bem estabelecidos por Canellas et al. (2003). Nardi et al. (2004) avaliaram solos que receberam a adição de adubos orgânicos e inorgânicos durante um período de 40 anos e verificaram que a perda de C total nos solos sob adição de materiais orgânicos foi bastante inferior ao solo que recebeu adubos minerais. Da mesma forma, os autores verificaram que a adição dos adubos orgânicos promoveu a formação de substâncias húmicas com maior gradiente de policondensação, o que se relacionou com o aumento dos índices atribuídos à fertilidade do solo. A avaliação

da aplicação recente de adubos orgânicos, entretanto, também é importante para estabelecer estratégias visando recuperar a capacidade produtiva em solos degradados pela agricultura convencional.

As equações de regressão para o C total em função das doses de vermicomposto e torta de filtro (Quadro 13) apresentaram incrementos lineares, com ajuste mínimo de 0,81. Em T_0 , no Latossolo, as taxas de aumento foram de $0,06 \text{ g dm}^{-3}$ por Mg de vermicomposto e de $0,04 \text{ g dm}^{-3}$ para a torta de filtro. As amostras que receberam o vermicomposto apresentaram teor de C superior, com aumentos na ordem de 2,2, 4,7 e 7 g dm^{-3} , respectivamente para as doses de 40, 80 e 120 Mg ha^{-1} (Tabela 1B). Já para a torta de filtro os aumentos atingiram 1,7, 3,2 e $4,8 \text{ g dm}^{-3}$ (Tabela 2B). O efeito mais pronunciado a partir do uso do vermicomposto é um reflexo do maior teor de matéria orgânica nesse adubo (Quadro 5).

Ao longo do tempo o decréscimo do C ocorreu de forma semelhante para os dois adubos orgânicos. De forma geral, foi observado que a manutenção de teores elevados de C ocorreu até um período de aproximadamente 360 dias (Figura 10). Uma queda acentuada é observada no período compreendido entre 400 e 720 dias. Apesar disso, nos solos adubados, os teores da amostra controle não foram atingidos mesmo após 720 dias de experimento. A evolução do C no solo está associada à liberação de CO_2 por meio da atividade dos microrganismos e também pela formação de frações da matéria orgânica estabilizada, como os AH e as huminas. Yagi et al. (2003) verificaram que a adição de vermicomposto em doses de até 70 Mg ha^{-1} resultou em aumento linear do C dessas frações num Latossolo Vermelho, após 180 dias de incubação, e que a adição desse adubo não interferiu na fração AF. Uma dinâmica diferente foi observada no presente experimento, com diminuição da fração AH e aumento nos AF e nas huminas, como será visto posteriormente.

No Cambissolo, em T_0 , o aumento do C total em função da aplicação dos adubos foi semelhante ao observado para o Latossolo, com taxas que alcançaram $0,06 \text{ g dm}^{-3}$ para cada Mg de vermicomposto ou de torta de filtro. Ao longo do tempo, entretanto, foram observados decréscimos mais acentuados ainda no primeiro ano de aplicação, sendo o período compreendido entre 400 e 720 dias, de maneira geral, caracterizado pela estabilização dos níveis de C (Figura 10). As equações apresentadas no Quadro 13 demonstram também que até T_2 as taxas

de incremento de C em função da dose decrescem gradativamente e aumentam a partir desse período. No Cambissolo sob aplicação do vermicomposto, uma diminuição rápida nos teores de AH foi observada até 180 dias (Figura 13c). Após isso, os teores nas amostras que receberam o vermicomposto foram semelhantes à amostra testemunha, com pequenas alterações até 720 dias. Estabelece-se, portanto, para o Cambissolo, relação entre a maior taxa de liberação de C e a maior participação dos AH até 180 dias após a aplicação do vermicomposto. Nas amostras obtidas após 180 dias, apesar do decréscimo do C total, a participação dos AH não se altera, ou se altera muito pouco, refletindo a maior estabilidade desta fração.

No Cambissolo sob aplicação da torta de filtro, entretanto, essa relação não foi observada (Figura 13d), embora o comportamento do C total ao longo do tempo tenha sido semelhante ao tratamento com vermicomposto. Nesse caso, os teores de C nos AH aumentaram de maneira acentuada entre T_0 e T_1 . Entre T_1 e T_2 a participação dos AH foi bastante elevada e, nas amostras subseqüentes, houve redução nos AH. Em T_4 , níveis de AH inferiores à amostra testemunha foram observados, sugerindo a sua degradação após dois anos de incubação de torta de filtro. Esta redução foi acompanhada pelo aumento dos teores de AF (Figura 14d) e menores relações C_{AH}/C_{AF} entre todos os tratamentos (Figura 18).

Quadro 13 - Equações de regressão para os teores de carbono total, nos diferentes tempos, em função das doses de vermicomposto e de torta de filtro			
Tratamento	Tempo	Equação	R ²
L + VC	T ₀	$\hat{y} = 15,85 + 0,059 x$	1,00
	T ₁	$\hat{y} = 15,81 + 0,055 x$	0,99
	T ₂	$\hat{y} = 16,10 + 0,046 x$	0,99
	T ₃	$\hat{y} = 15,65 + 0,040 x$	0,97
	T ₄	$\hat{y} = 13,54 + 0,034 x$	0,99
L + TF	T ₀	$\hat{y} = 15,94 + 0,040 x$	1,00
	T ₁	$\hat{y} = 16,29 + 0,032 x$	0,96
	T ₂	$\hat{y} = 15,64 + 0,030 x$	0,96
	T ₃	$\hat{y} = 15,87 + 0,026 x$	1,00
	T ₄	$\hat{y} = 13,61 + 0,024 x$	0,90
C + VC	T ₀	$\hat{y} = 20,87 + 0,057 x$	0,87
	T ₁	$\hat{y} = 20,99 + 0,039 x$	0,93
	T ₂	$\hat{y} = 18,11 + 0,045 x$	0,98
	T ₃	$\hat{y} = 16,92 + 0,048 x$	0,99
	T ₄	$\hat{y} = 15,59 + 0,051 x$	0,94
C + TF	T ₀	$\hat{y} = 20,64 + 0,055 x$	0,98
	T ₁	$\hat{y} = 20,74 + 0,026 x$	0,96
	T ₂	$\hat{y} = 18,51 + 0,030 x$	0,93
	T ₃	$\hat{y} = 17,26 + 0,035 x$	0,99
	T ₄	$\hat{y} = 16,24 + 0,035 x$	0,81

C = Cambissolo; L = Latossolo; VC = Vermicomposto; TF = Torta de filtro.

T₀ = instalação; T₁ = 90 dias; T₂ = 180 dias; T₃ = 360 dias; T₄ = 720 dias.

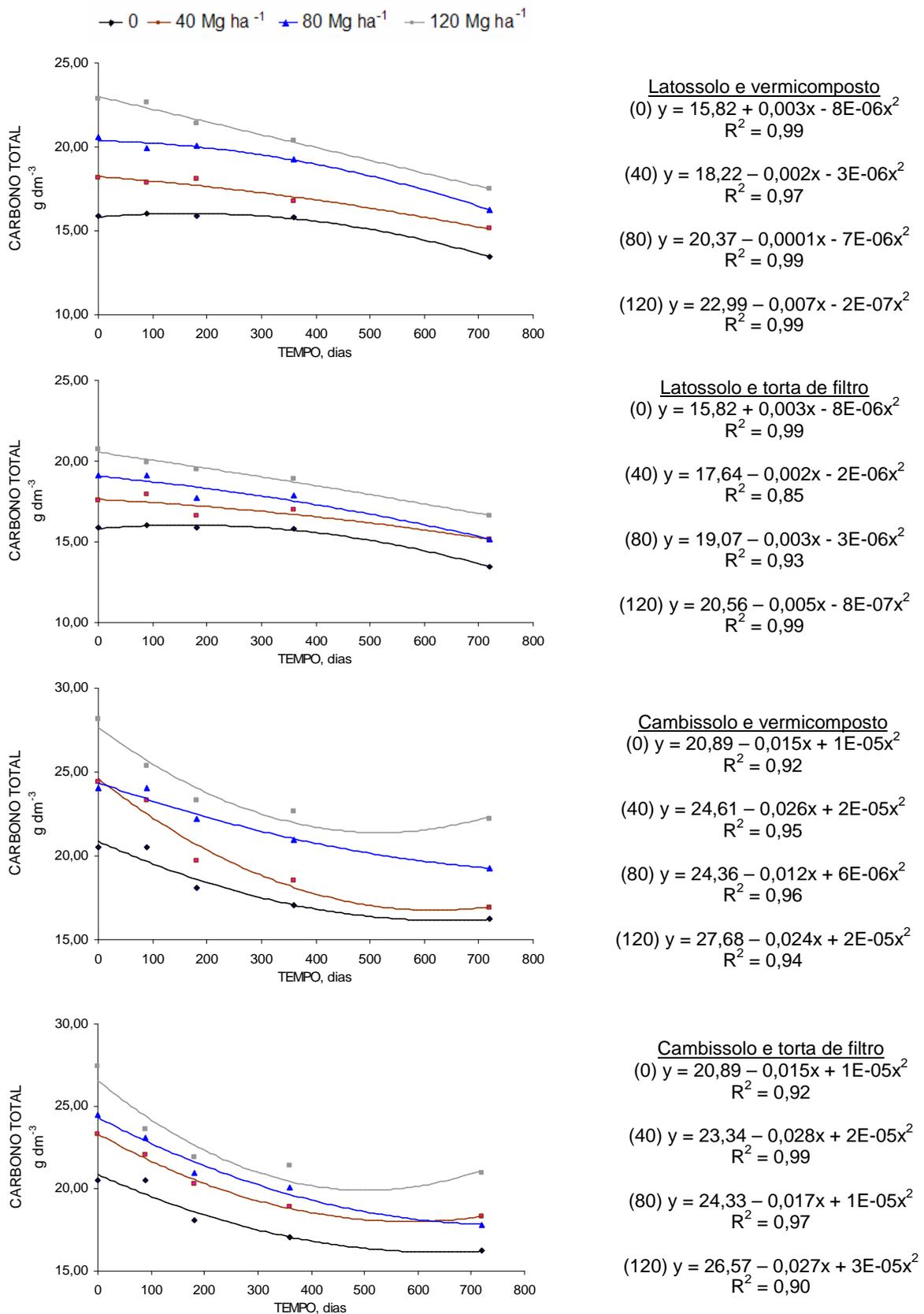


Figura 10 - Teor de carbono total em resposta à aplicação de adubos orgânicos.

4.3.8. Efeito sobre a capacidade de troca de cátions

A capacidade de troca de íons é uma importante propriedade que permite aos solos reter elementos em formas acessíveis às plantas. Essa propriedade tem origem no excesso de carga elétrica existente nas superfícies. Predomina, na maioria dos solos, a troca de cátions pela maior dominância de solos eletronegativos (Raij, 1991). No presente estudo, foi priorizada a capacidade potencial de troca de cátions, ou seja, a CTC a pH 7,0, na qual consistiu na soma dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ e Al^{3+} .

As equações de regressão em resposta às doses crescentes dos adubos orgânicos evidenciaram aumentos lineares na CTC das amostras (Quadro 14). Na instalação do experimento, a aplicação de vermicomposto no Latossolo promoveu aumento médio de $0,300 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para cada Mg aplicado. Como reflexo, ainda em T_0 , a CTC do Latossolo passou de $67,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na amostra sem aplicação do adubo, para $70,9$, $91,1$ e $100,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente para as doses 40 , 80 e 120 Mg ha^{-1} (Tabela 1B), fazendo com que a classificação da CTC nas amostras que receberam 80 e 120 Mg ha^{-1} passassem de uma categoria média para outra considerada boa (CFSEMG, 1999). Ao longo do tempo os acréscimos decorrentes da adição do vermicomposto foram menores, atingindo em T_4 uma taxa de $0,063 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ por Mg aplicado.

Aumentos significativos na CTC do solo a partir da aplicação de diferentes doses de vermicomposto num Latossolo Vermelho Eutrófico típico do estado de São Paulo foram observados por Yagi et al. (2003). Nesse estudo, os autores verificaram que a eficiência agrônômica do vermicomposto em relação ao composto convencional, no que se refere ao aumento da CTC do solo, foi bastante superior e atribuíram este efeito à maior produção de grupamentos funcionais ácidos durante a vermicompostagem.

Para o Latossolo sob aplicação da torta de filtro, em T_0 , foram observados incrementos de $0,241 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ por Mg, resultado ligeiramente inferior ao obtido para o vermicomposto. Ao longo do tempo, entretanto, o comportamento da CTC foi semelhante. Em T_4 , valores representando uma taxa de $0,058 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ por Mg de torta de filtro foram observados.

Para o Cambissolo, a presença de minerais de argila do tipo 2:1 (Figura 3) resultou numa CTC considerada muito boa mesmo nas amostras sem adição dos adubos. Isso porque minerais como a Illita apresentam CTC elevada,

na ordem de 300 a 500 mmolc kg⁻¹ (Furtini Neto, 2001). A aplicação dos adubos orgânicos, entretanto, também conduziu ao aumento da CTC, com resultados bastante semelhantes entre os adubos.

Ao longo do tempo, equações quadráticas descreveram o comportamento da CTC dos solos (Figura 11). O efeito da aplicação dos adubos orgânicos sobre a CTC do solo foi observado até um período de 360 dias, aproximadamente. A partir desse ponto, em todas as amostras, independente da dose ou do tipo de adubo, os valores se assemelharam bastante ao da amostra testemunha, numa dinâmica representativamente influenciada pelo teor de carbono total do solo (Figura 10).

Quadro 14 - Equações de regressão para a capacidade de troca de cátions, nos diferentes tempos, em função das doses de vermicomposto e de torta de filtro

Tratamento	Tempo	Equação	R ²
L + VC	T ₀	$\hat{y} = 64,61 + 0,300 x$	0,94
	T ₁	$\hat{y} = 63,73 + 0,140 x$	0,99
	T ₂	$\hat{y} = 57,11 + 0,092 x$	0,99
	T ₃	$\hat{y} = 55,34 + 0,080 x$	0,97
	T ₄	$\hat{y} = 51,68 + 0,063 x$	0,82
L + TF	T ₀	$\hat{y} = 66,85 + 0,241 x$	1,00
	T ₁	$\hat{y} = 64,81 + 0,149 x$	0,99
	T ₂	$\hat{y} = 57,95 + 0,084 x$	0,93
	T ₃	$\hat{y} = 54,91 + 0,124 x$	0,95
	T ₄	$\hat{y} = 51,95 + 0,058 x$	0,93
C + VC	T ₀	$\hat{y} = 160,53 + 0,231 x$	0,55
	T ₁	$\hat{y} = 154,25 + 0,140 x$	0,41
	T ₂	$\hat{y} = 132,28 + 0,071 x$	0,42
	T ₃	$\hat{y} = 120,79 + 0,287 x$	0,77
	T ₄	$\hat{y} = 119,94 + 0,187 x$	0,70
C + TF	T ₀	$\hat{y} = 161,16 + 0,229 x$	0,99
	T ₁	$\hat{y} = 155,08 + 0,228 x$	0,26
	T ₂	$\hat{y} = 129,48 + 0,053 x$	0,96
	T ₃	$\hat{y} = 117,83 + 0,136 x$	0,60
	T ₄	$\hat{y} = 120,49 + 0,070 x$	0,37

C = Cambissolo; L = Latossolo; VC = Vermicomposto; TF = Torta de filtro.

T₀ = instalação; T₁ = 90 dias; T₂ = 180 dias; T₃ = 360 dias; T₄ = 720 dias.

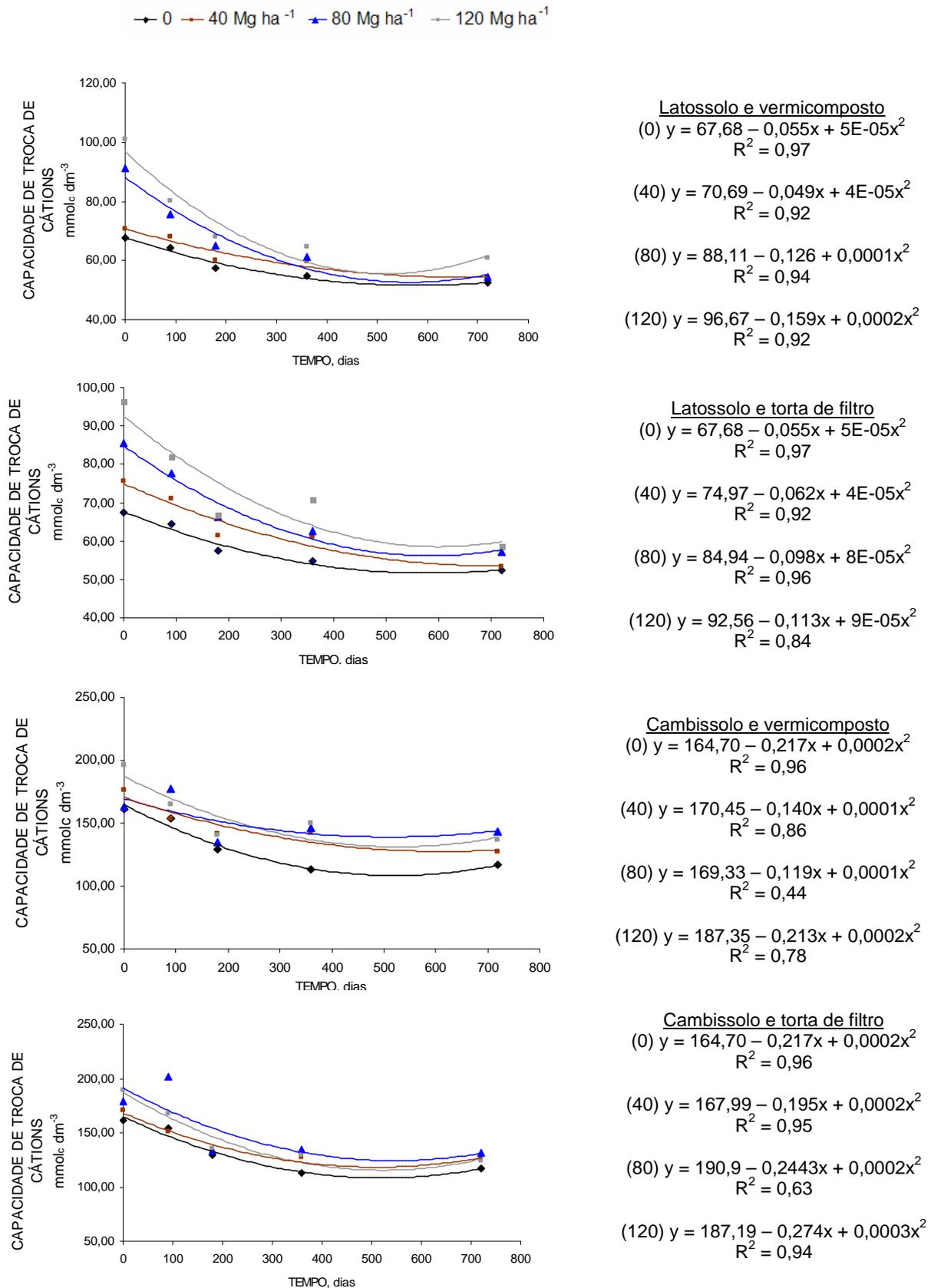


Figura 11 - Capacidade de troca de cátions do solo em resposta à aplicação de adubos orgânicos.

4.4. Distribuição das cargas elétricas variáveis e permanentes

Uma grande parte das características ligadas à fertilidade do solo possui relação com o fenômeno de cargas elétricas. Além da mineralogia, o manejo do solo, aqui representado pela incorporação de matéria orgânica, pode ter influência na disponibilidade de cargas variáveis. Por isso o assunto vem sendo amplamente explorado nos últimos 35 anos, principalmente a partir do trabalho de Raij e Peech (1972). A estimativa das cargas permanentes não foi tão explorada quanto às variáveis. Anderson e Sposito (1991) propuseram um método baseado na adsorção de Cs^+ que permite quantificar, simultaneamente, as cargas variáveis e permanentes. Alves (2002) empregou o método de adsorção de Cs^+ para avaliar uma série de solos do estado de São Paulo e verificou resultados coerentes com a composição mineralógica das amostras. Esta metodologia, entretanto, vem sendo pouco utilizada para os solos brasileiros. A participação das cargas permanentes e variáveis foi avaliada nas amostras do Latossolo e do Cambissolo, sem a incorporação dos adubos orgânicos, e nas amostras desses solos, após aplicação equivalente a 40 Mg ha^{-1} de torta de filtro, nos mesmos tempos da análise de fertilidade.

A participação média da carga elétrica variável no Latossolo foi de $12,3 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$, o que correspondeu a 68% da carga total. Esse resultado é inferior ao observado por Weber et al. (2005), que estudaram Latossolos ácricos do estado de São Paulo e determinaram, na camada superficial dos solos (0-0,20 m), cargas variáveis entre $14,1$ e $33,7 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$, representando, em média, 74% da carga total. Em amostras subsuperficiais, esses mesmos autores verificaram uma queda na ordem de 71% nas cargas variáveis, acompanhando um decréscimo de 3,5 vezes no teor de C em profundidade. Em 8 diferentes Latossolos paulistas, Alves (2002) verificou participação das cargas variáveis entre 52,3 e 70,2%.

Após a incorporação da dose equivalente a 40 Mg ha^{-1} de torta de filtro, na instalação do experimento, observou-se aumento significativo na densidade de cargas variáveis, que passaram de $11,4$ para $13,1 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 12a). A matéria orgânica contribui com quantidades relativamente grandes de cargas pH-dependentes em função da sua elevada CTC, que pode superar $4000 \text{ mol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Stevenson, 1994). As substâncias humificadas possuem um papel destacado no desenvolvimento dessas cargas. Canellas et al. (2004) avaliaram a

acidez total de AH isolados de um Argissolo submetido ao cultivo com diferentes espécies de leguminosas e obtiveram acidez total entre 5239 e 10521 mmol_c kg⁻¹.

Apesar de não ter sido realizada a avaliação do PCZ no Latossolo após a incubação dos adubos orgânicos, é provável que o valor tenha diminuído. Isso implica em maior disponibilidade de cargas negativas ao pH do solo e, conseqüentemente, maior capacidade de troca de cátions. Os resultados analíticos apresentados na Tabela 2B demonstram que a CTC do Latossolo passou de 67,6 mmol_c dm⁻³ para 75,7 mmol_c dm⁻³, após a aplicação da torta de filtro. Efeito semelhante foi observado para a participação das bases no complexo sortivo do solo, que aumentou de 50,7% para 55,7%.

O efeito positivo da aplicação da matéria orgânica sobre as cargas variáveis no Latossolo foi observado até a amostra obtida após 360 dias. Na amostra obtida após dois anos de incubação, a densidade de cargas variáveis foi igual à do solo sem aplicação do adubo orgânico. A mesma tendência foi observada para a CTC (Figura 11).

Na avaliação das cargas permanentes, foi observada uma densidade média de 5,9 mmol_c kg⁻¹ para o Latossolo, o que representa 32% da carga total. Este resultado é bastante próximo à média de 27% observada para diferentes Latossolos do estado de São Paulo (Weber et al., 2005). Peixoto (1995), entretanto, observou participação superior, na ordem de 43% para um Latossolo Roxo caulínico e de 40% para um Latossolo Roxo ferruginoso do estado do Paraná. Estudos empregando titulação potenciométrica e o método de adsorção de Cs⁺ têm indicado que quantidades muito pequenas de minerais do tipo 2:1 apresentam impacto significativo sobre a química de superfície em solos com predominância de cargas variáveis (Chorover e Sposito, 1995). Dessa forma, é possível sugerir a presença desses minerais nos Latossolos em quantidades não detectadas pela difração de raios X, tanto na fração argila quanto na fração silte. Na fração silte, é comum a presença de minerais 2:1 + minerais mal cristalizados, os quais constituem fonte potencial dessas cargas (Lim et al., 1980). Da mesma forma, é possível sugerir que a carga permanente no Latossolo seja resultante de substituições isomórficas na caulinita, que pode, segundo Sposito (1989), alcançar 20 mmol_c kg⁻¹.

Entretanto, chama atenção o aumento das cargas permanentes no Latossolo após a incorporação da torta de filtro. Como as cargas permanentes se

desenvolvem por substituição isomórfica de componentes estruturais dos minerais, não é esperado o seu aumento com a aplicação da matéria orgânica. Peixoto (1995) avaliou a participação das cargas permanentes em três Latossolos roxos do estado do Paraná em condição de floresta e observou que a complexação do Cs^+ pela matéria orgânica do solo foi uma fonte de erro potencial no método. Anderson e Sposito (1991) mencionaram a possibilidade de que os AH podem apresentar preferência superior ao Li^+ na adsorção do Cs^+ . É possível que a solução de LiCl não tenha sido eficiente na extração do Cs^+ adicionado às amostras do Latossolo. De acordo com os resultados observados, entretanto, é possível sugerir que esta interferência ocorre somente no caso de matéria orgânica recém incorporada aos solos, uma vez que em todas as amostras obtidas após 90 dias a magnitude das cargas permanentes foi semelhante ao solo sem aplicação da torta de filtro. Uma interferência da matéria orgânica em função da sua composição química é então sugerida. Entretanto, estudos adicionais devem ser realizados para a confirmação dessa hipótese.

A densidade de carga total para o Cambissolo apresentou média de $76,4 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Esse valor foi 4 vezes superior ao observado para o Latossolo. Para o Cambissolo, a densidade de cargas permanentes foi da ordem de $46,2 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$, o que representou mais de 60% da carga total (Figura 12b). A maior participação de cargas permanentes no Cambissolo ocorreu em função da presença de illita tanto na fração argila quanto no silte (Figura 3a). Após três extrações sucessivas com LiCl , Chorover et al. (1999) verificaram que a quantidades de Cs^+ adsorvido pela illita superou $430 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Para caulinita os autores observaram valores de adsorção de Cs^+ superiores a $60 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Dessa forma, mesmo pequenas quantidades de illita podem influenciar consideravelmente a química de superfície dos solos.

Diferente do Latossolo, não foram observadas alterações nas cargas permanente e variável do Cambissolo com a aplicação da torta de filtro. Os resultados sugerem que a interferência da matéria orgânica na avaliação da carga permanente pelo método do Cs^+ ocorre preferencialmente em solos com maior participação de cargas variáveis, com domínio de minerais de argila do tipo 1:1 e óxidos.

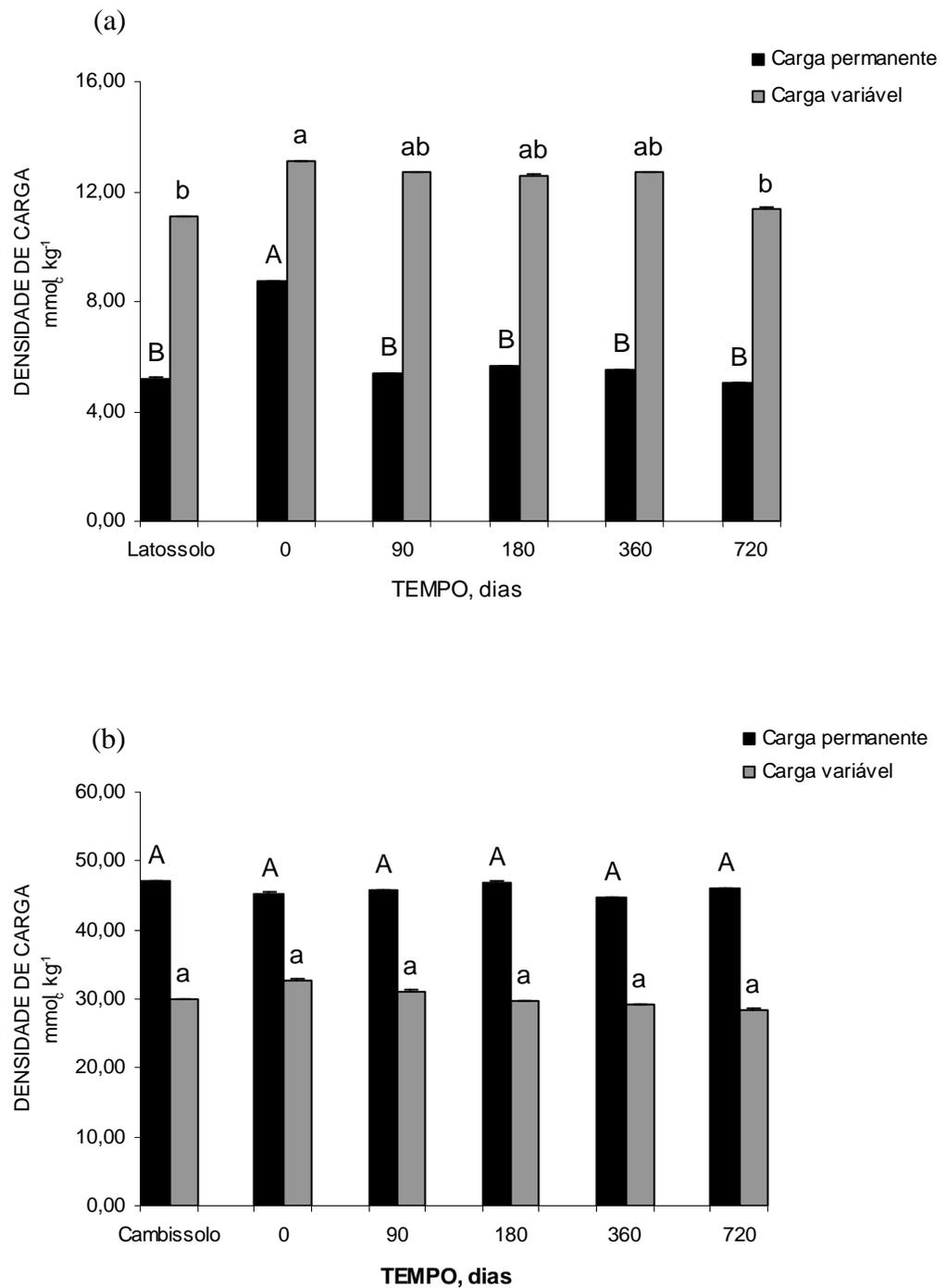


Figura 12 – Cargas elétricas permanentes e variáveis determinadas pelo método de adsorção do Cs⁺ em amostras de um Latossolo Amarelo Eutrófico típico e de um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico sob aplicação de torta de filtro.

4.5. Matéria orgânica humificada após a adição dos adubos orgânicos

4.5.1. Efeito sobre o teor de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos

A maior parte da matéria orgânica do solo é formada pelo produto da transformação biológica de resíduos animais e vegetais em substâncias húmicas (AH, AF e huminas). Essas substâncias são isoladas por procedimentos clássicos de fracionamento baseado na solubilidade em meio ácido e alcalino (Stevenson, 1994). Os AH compõem uma mistura heterogênea de moléculas com grande massa molecular, que representam, macroscopicamente, um arranjo supramolecular unido por interações hidrofóbicas fracas (Piccolo, 2002). Já nos AF, as pequenas unidades moleculares são tão carregadas eletricamente que afastam a possibilidade de um arranjo supra-estrutural desenvolvido não permitindo, portanto, a sua floculação com a alteração das condições do meio. O conteúdo e a distribuição das frações que compõem a matéria orgânica do solo são correlacionados com as principais propriedades dos solos (Canellas et al., 2000).

Kononova (1982) preconizou o uso da relação C_{AH}/C_{AF} para avaliar a qualidade do húmus, uma vez que a distribuição dessas frações pode representar o histórico de ocupação dos solos. Uma série de trabalhos tem demonstrado que a adoção de sistemas agrícolas cujos manejos permitem a deposição continuada de matéria orgânica favorece a formação dos AH (Canellas et al., 2003; Yagi et al., 2003; Nardi et al., 2004; Rivero et al., 2004). Segundo a teoria que trata as substâncias húmicas como uma macromolécula, esse acúmulo representa a maior participação de estruturas aromáticas condensadas, o maior tamanho e massa moleculares e a decomposição parcial de grupamentos alifáticos (Stevenson, 1994). Já Piccolo (2002) sugere que o acúmulo de AH nos solos representa um aumento no caráter hidrofóbico da matéria orgânica, sendo os AF formados por pequenas micelas estáveis que permanecem dispersas devido à repulsão das cargas negativas originadas da dissociação de grandes quantidades de grupos ácidos presentes na sua estrutura.

O aumento da hidrofobicidade da matéria orgânica tem sido associado a características como a estabilidade e proteção do solo (Piccolo e Mbagwu, 1990; Goelbel et al., 2005), seqüestro de C (Spaccini et al., 2002) e disponibilidade de nutrientes como N, P e S (Canellas et al., 2008b). Dessa forma, é possível associar o aumento no teor de AH com a melhoria da qualidade dos solos.

Os teores de AH nos solos sob aplicação dos adubos orgânicos estão apresentados na Figura 13. Para o Latossolo, foi possível observar que a adição dos materiais resultou, de forma geral, no aumento da participação da fração AH. Em T_0 , esse efeito foi mais pronunciado quando o adubo utilizado foi o vermicomposto, onde o teor de AH passou de $0,42 \text{ g kg}^{-1}$, na amostra testemunha, para $0,87$ e $1,00 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente para as doses 40 e 80 Mg ha^{-1} . No solo sob aplicação da torta de filtro, as mudanças foram mais incipientes e atingiram, no máximo, $0,61 \text{ g kg}^{-1}$. Após 90 dias, entretanto, também no solo sob aplicação da torta de filtro, os teores de AH foram aumentados e atingiram níveis superiores a $1,4 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 13b).

A maior participação dos AH nas amostras do Latossolo sob aplicação dos adubos orgânicos foi observada até 360 dias, independente do tipo de material. Comparando as amostras obtidas entre 360 e 720 dias, entretanto, exceto para a dose correspondente a 120 Mg ha^{-1} , observou-se um decréscimo acentuado nos teores de AH (Figuras 13a e b). Na última amostragem (720 dias), os teores de AH atingiram valores semelhantes à amostra testemunha, com exceção das amostras que receberam a maior dose dos adubos. Spaccini et al. (2005) observaram o decréscimo dos teores de AH após a substituição de solos florestais por sistemas agrícolas. Esse decréscimo pode ser atribuído à oxidação biológica do material orgânico, previamente protegido nos agregados do solo e que se tornaram expostos após a utilização de implementos agrícolas. Como ocorre uma deposição constante de material vegetal em solos florestais, ocorre um “equilíbrio” entre essa oxidação e a estabilização do C na forma de AH. Uma vez rompido esse estágio e interrompida essa deposição rotineira de compostos orgânicos ocorre uma tendência de decomposição dos AH, com preservação dos AF devido ao seu maior conteúdo de grupamentos carboxílicos e fenólicos (Stevenson 1994).

Para o Cambissolo, foi verificada uma dinâmica diferente. Ao contrário do Latossolo, observou-se a diminuição dos teores de AH já nas amostras obtidas na instalação do experimento, independente da fonte de matéria orgânica aplicada. As amostras demonstraram, ao longo do tempo, uma rápida depreciação dos níveis de AH (Figura 13c), alcançando índices bastante inferiores à amostra testemunha, já em 180 dias de incubação. De maneira surpreendente, para o solo que recebeu a torta de filtro, os teores de AH aumentaram representativamente

entre a instalação e as amostras obtidas em 90 dias e atingiram os maiores índices na amostragem subsequente. Isso sugere uma dinâmica bastante diferente de formação e decomposição de AH, na qual um ou outro processo é predominante em função do tipo de matéria orgânica adicionada.

Tanto para o Latossolo quanto para o Cambissolo, independente do tipo de adubo orgânico empregado, a diminuição da fração AH ao longo do tempo foi acompanhada pelo acréscimo nos AF (Figura 14). Para o Cambissolo, especificamente quando a torta de filtro foi utilizada, observou-se o aumento da participação dos AF já na instalação do experimento. É interessante notar, nesse caso, que o aumento desta fração contrastou com a diminuição dos teores de AH. Da outra forma, após 90 dias de incubação, observou-se a depreciação dos níveis de AF e aumento dos AH, numa dinâmica relativamente rápida de interconversão dessas frações. No Latossolo também é possível notar essa conversão de formas de C, uma vez que os menores índices de AF observados nas amostras obtidas em 180 dias contrastam com o acúmulo de AH.

Para todos os solos e tipos de adubo orgânico aplicados, é possível observar um acúmulo de AF a partir das amostras obtidas em 360 dias. Entre essas amostras e as obtidas em 720 dias, esse efeito é ainda mais pronunciado e reflete, possivelmente, a degradação do C estabilizado sob a forma de AH. Camargo et al. (1999) também sugerem que, após a lise celular microbiana, ocorre a insolubilização dos polissacarídeos oriundos da biodegradação protoplasmática. Uma porção desses polissacarídeos é incorporada às cadeias alifáticas dos AF, o que poderia explicar, em parte, o acúmulo desta fração nos solos. Os resultados do presente experimento sugerem que esse processo parece ser acentuado no período compreendido entre 360 e 720 dias após a adição dos resíduos orgânicos.

Alguns aspectos podem ser responsáveis diretos pelas alterações nos teores de AH e AF nos solos em estudo. Um deles está relacionado à própria mineralogia. Mendonça e Rowell (1996) verificaram que, em solos tropicais ricos em óxidos e caulinita, a fração AH é mais facilmente decomposta que os AF. Isso porque a adsorção da matéria orgânica aos óxidos é influenciada pelos grupamentos carboxílicos, mais abundantes nos AF (Varadachari et al., 1995). Como pôde ser observado nas Figuras 13a e b, com exceção da amostra que recebeu 120 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica, após 720 dias os teores de AH no

Latossolo foram semelhantes à amostra sem adição dos adubos do início do experimento. Já para o Cambissolo, os teores foram bastante inferiores. Isto demonstra uma menor proteção da fração AH em solos com presença de materiais do tipo 2:1 que receberam recentemente adição de matéria orgânica. Os grupamentos funcionais presentes nas substâncias húmicas apresentam maior reatividade com H^+ e íons metálicos, predominantes nos solos mais intemperizados. Além disso, a densidade de cargas negativas no Latossolo é bastante inferior ao Cambissolo, o que colabora para uma interação íntima entre os grupamentos eletropositivos da fração mineral com as cargas predominantemente negativas da matéria orgânica.

As características químicas dos resíduos adicionados podem também explicar, em parte, as diferenças observadas nos teores de AH principalmente nas amostras iniciais. Como a torta de filtro é formada em parte por resíduos de bagaço de cana-de-açúcar, material mais resistente à ação microbiana pelo maior conteúdo de compostos como lignina e celulose, não foram observadas alterações tão representativas quando o Latossolo recebeu a adição desse resíduo na instalação do experimento. Esse efeito foi pronunciado somente após 90 dias de incubação, período que parece ter sido suficiente para a seleção e multiplicação de microrganismos com capacidade de decompor também esse resíduo. Para o Cambissolo, a aplicação da torta de filtro diminuiu a participação dos AH inicialmente, entretanto, da mesma forma que o Latossolo, após 90 dias, os níveis de AH se assemelharam aos observados na aplicação do vermicomposto.

Um fator que merece destaque na avaliação da participação dos AH em solos sob adição de adubos orgânicos é a frequência com que esses materiais são adicionados ao sistema. Quando a deposição de materiais orgânicos é constante, observa-se, independente do tipo de solo, uma tendência de maior participação dos AH. Por exemplo, Nardi et al. (2004) verificaram que a adição de diferentes adubos orgânicos num Cambissolo durante um longo período de tempo (40 anos) promoveu a formação de substâncias húmicas com características típicas de AH. Ao contrário, se a matéria orgânica for aplicada em dose única, como avaliado no presente estudo, há uma tendência de diminuição gradativa e acentuada na fração AH com o tempo. Isso foi verificado também por Yagi et al. (2003), que efetuaram uma única aplicação de vermicomposto em

doses variando de 14 a 70 Mg ha⁻¹ e observaram, após 180 dias, decréscimo da participação dos AH, com esse efeito proporcional à dose aplicada. Dessa forma, é possível prever que o acúmulo dos AH em solos cultivados sob sistema orgânico ocorreria somente quando houvesse uma oferta contínua de matéria orgânica, o que permitiria a conservação de parte do C adicionado sob a forma de AH.

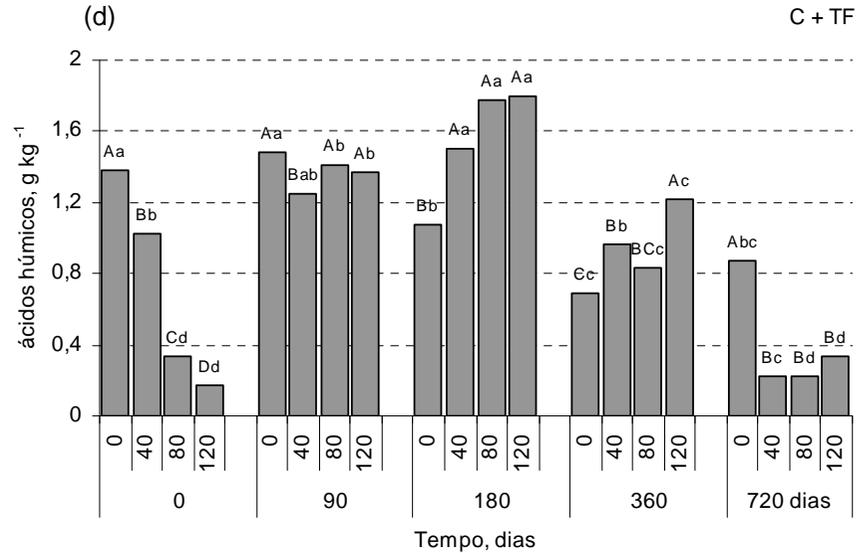
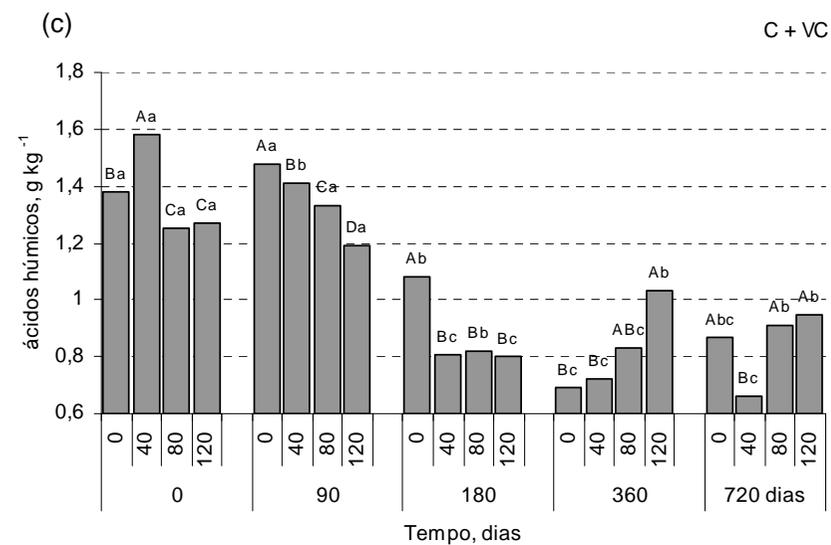
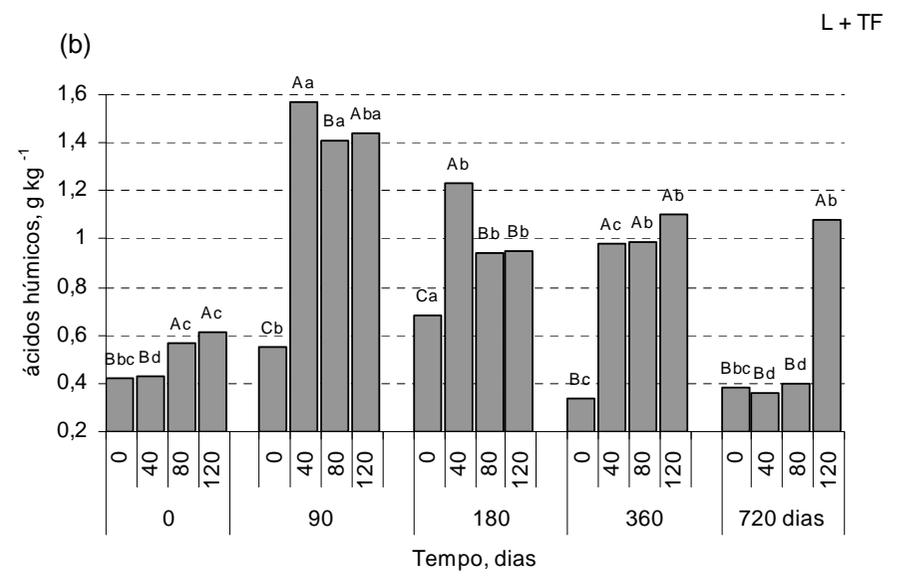
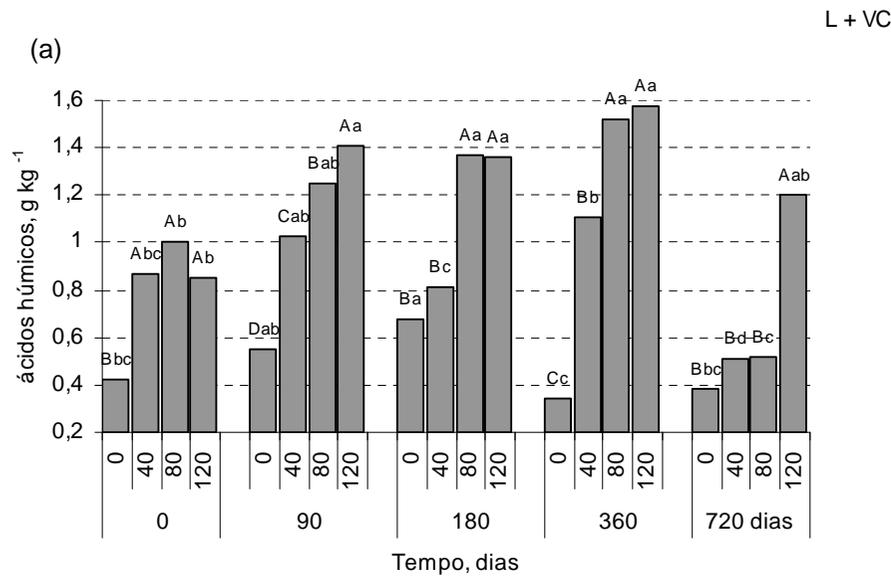


Figura 13 - Efeito da aplicação de adubos orgânicos sobre o teor de ácidos húmicos: (a) Latossolo e vermicomposto; (b) Latossolo e torta de filtro; (c) Cambissolo e vermicomposto; (d) Cambissolo e torta de filtro. Letras maiúsculas comparam as doses em cada tempo. Letras minúsculas comparam uma mesma dose ao longo do tempo (Teste de Tukey a 5% de probabilidade).

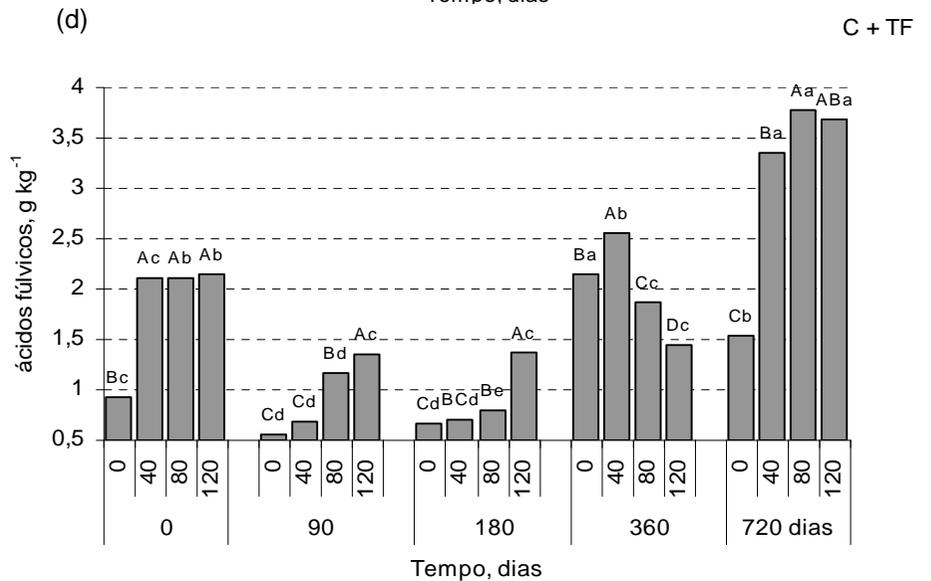
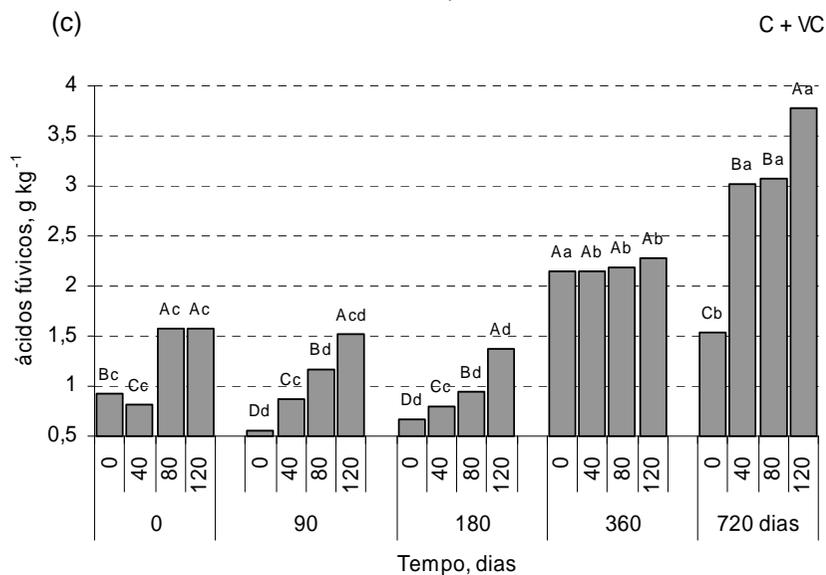
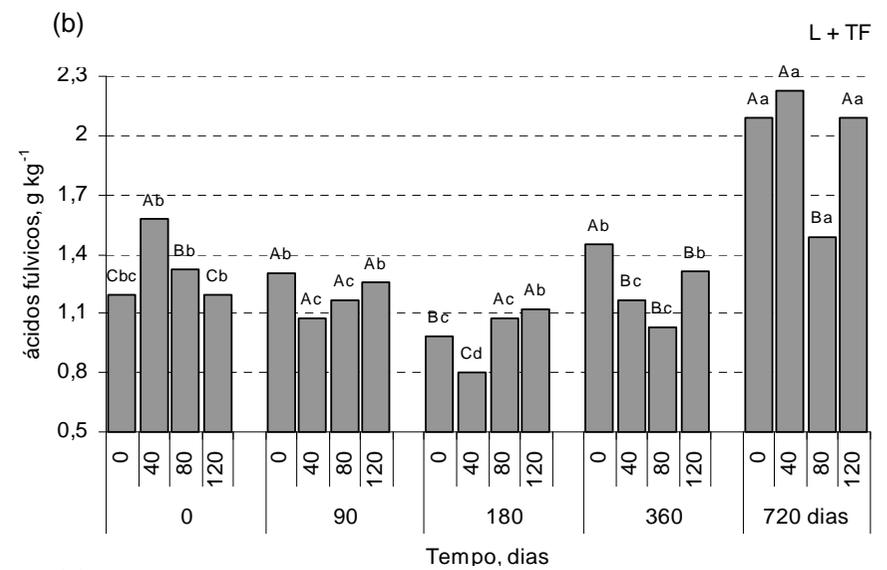
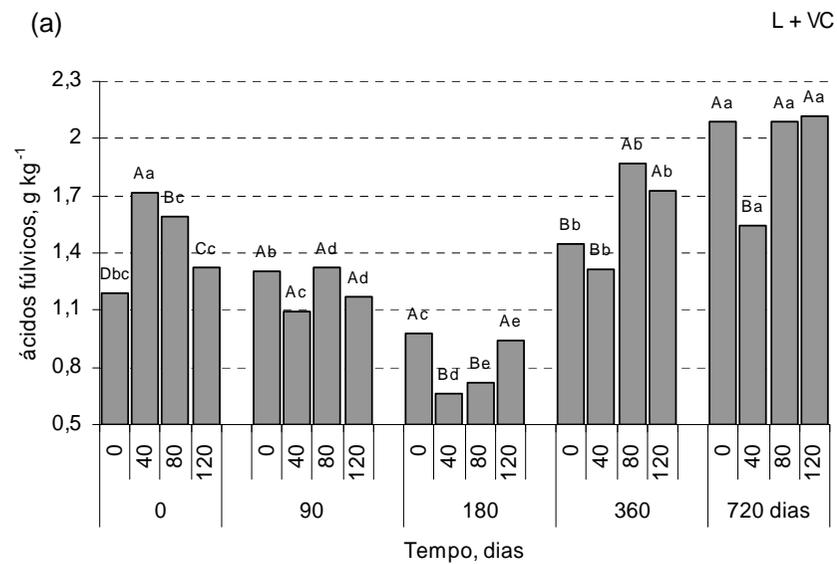


Figura 14 - Efeito da aplicação de adubos orgânicos sobre o teor de ácidos fúlvicos: (a) Latossolo e vermicomposto; (b) Latossolo e torta de filtro; (c) Cambissolo e vermicomposto; (d) Cambissolo e torta de filtro. Letras maiúsculas comparam as doses em cada tempo. Letras minúsculas comparam uma mesma dose ao longo do tempo (Teste de Tukey a 5% de probabilidade).

4.6. Características espectroscópicas dos ácidos húmicos

A espectroscopia de UV-vis permite a obtenção do índice E_4/E_6 , relação entre a absorvância em 465 e 665 nm de soluções aquosas diluídas de AH e AF. Esta razão é independente da concentração de substâncias húmicas em solução, mas varia com o tipo de solo e o manejo a que é submetido (Kononova, 1966; Stevenson, 1994; Canellas et al., 2004; Slepetine e Slepetys, 2005). Segundo Kononova (1966), os valores da relação E_4/E_6 diminuem com o aumento do carácter aromático da rede de carbono. Já Chen et al. (1977) observaram relação inversa entre a razão E_4/E_6 e o conteúdo de radicais livres, C, O, COOH e acidez total, com influência principalmente no tamanho e massa moleculares das substâncias húmicas.

Na Figura 15, são apresentados os resultados da aplicação dos adubos orgânicos sobre a relação E_4/E_6 dos AH isolados do Latossolo e do Cambissolo em estudo. Os valores médios para solos sem aplicação dos adubos orgânicos foram de 4,7 e 4,0, respectivamente para o Latossolo e Cambissolo. Esses valores estão abaixo dos observados para outros solos brasileiros. Canellas et al. (2004) avaliaram um Argissolo do estado do Rio de Janeiro cultivado com diferentes espécies de leguminosas herbáceas e encontraram valores entre 4,9 e 7,6. Dobbss (2006) estudou sete diferentes Latossolos brasileiros e obteve, como média, uma relação E_4/E_6 de 6,5. Segundo a teoria da lignina para o processo de humificação, a evolução da matéria orgânica humificada está condicionada a uma maior participação de C em unidades aromáticas e menor presença de componentes alifáticos. De acordo com essa teoria, os AH extraídos do Cambissolo seriam mais humificados quando comparados aos do Latossolo, resultado que concorda com o observado para a relação C_{AH}/C_{AF} . Baldotto (2006) avaliou uma série de solos do estado do Rio de Janeiro e observou uma correlação estreita entre o índice de intemperismo e o grau de humificação das substâncias húmicas. Esse autor observou que solos menos intemperizados apresentaram AH mais humificados, o que está de acordo com os resultados da razão E_4/E_6 estabelecidos no presente estudo.

A aplicação dos adubos orgânicos modificou os valores da relação E_4/E_6 dos solos. Para o Latossolo, foi observado aumento desta relação já na instalação do experimento (Figuras 15a e b), independente do tipo de adubo utilizado. No uso do vermicomposto, os valores foram alterados de 5,1 para 5,5, 6,0 e 6,2,

respectivamente para as doses 40, 80 e 120 Mg ha⁻¹. Para a torta de filtro, esses valores foram menores, atingindo 5,2, para a dose de 40 Mg ha⁻¹, e 5,8, para as doses 80 e 120 Mg ha⁻¹.

Nas amostras obtidas após 180 dias, observou-se a diminuição da razão E₄/E₆ em todos os tratamentos, numa dinâmica relativamente rápida de transformação das características das substâncias húmicas. Esses resultados contrastam com os obtidos por Rivero et al. (2004) que avaliaram a aplicação de composto de tratamento de estação de água num Argissolo em doses de 0, 37, 74 e 148 Mg ha⁻¹. Os resultados de Rivero et al. (2004) demonstraram que a relação E₄/E₆ foi significativamente maior nos solos que receberam o material orgânico mesmo após um ano de aplicação. Quando os autores avaliaram a adição de 444 Mg ha⁻¹ do mesmo material, os AH apresentaram relação E₄/E₆ maior que a testemunha, mesmo após três anos. No presente estudo foi verificado, de forma geral, que o período de 360 dias foi suficiente para promover a estabilização desta relação.

Ao final do experimento, as amostras do Latossolo que receberam adição de torta de filtro apresentaram valores da relação E₄/E₆ próximas à amostra sem adição do adubo, em torno de 4,65. Já para os solos sob aplicação de vermicomposto, foram observados valores inferiores ao da amostras testemunha. É possível que a natureza química dos materiais empregados tenha sido responsável por essa diferenciação. Como os AH isolados da torta de filtro apresentaram maior acidez total (Quadro 6), é esperada uma maior interação entre esse material e a fração mineral do Latossolo. Reforça essa hipótese o fato de que AH isolados de solos altamente intemperizados apresentam-se ricos em grupamentos funcionais ácidos (Mendonça e Rowell, 1996). No caso do vermicomposto, a menor participação de grupamentos carboxílicos e fenólicos parece ter favorecido a formação de substâncias húmicas com maior tamanho e massa moleculares.

Para o Cambissolo, a incubação dos adubos também promoveu aumento na relação E₄/E₆ na instalação do experimento. A utilização da torta de filtro, entretanto, resultou nos aumentos mais expressivos. Nesse caso, este índice passou de 4,0, na amostra testemunha, para 6,2, quando foram aplicados 120 Mg ha⁻¹. No caso do vermicomposto, para a mesma dose, o valor da razão

E_4/E_6 foi de 4,9. Semelhante ao Latossolo, observou-se uma estabilização da razão E_4/E_6 já nas amostras obtidas em 180 dias.

Com as informações alcançadas é possível inferir que ao final de dois anos a adição do vermicomposto no Latossolo conduziu à formação de AH de maior tamanho e massa moleculares, maior acidez total e grupamentos COOH. Já para o Latossolo sob aplicação de torta de filtro e para o Cambissolo, independente do adubo adicionado, não houve influência na qualidade da matéria orgânica ao final do experimento. Entretanto, observou-se uma dinâmica mais rápida de estabilização do índice E_4/E_6 para o Cambissolo quando comparado ao Latossolo.

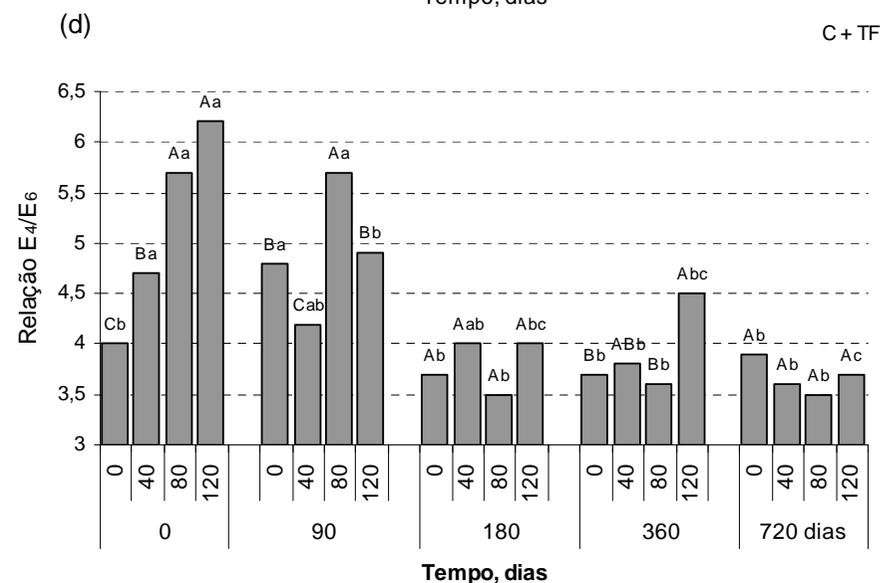
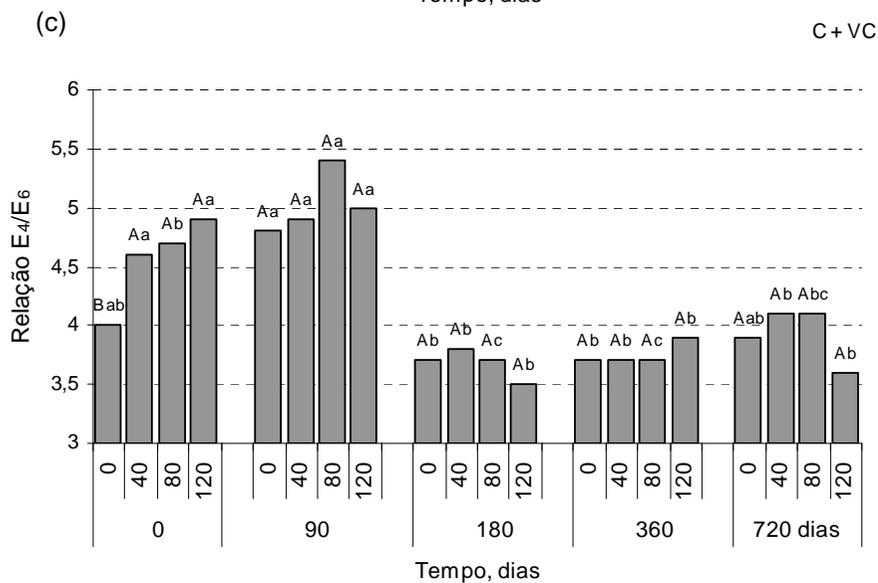
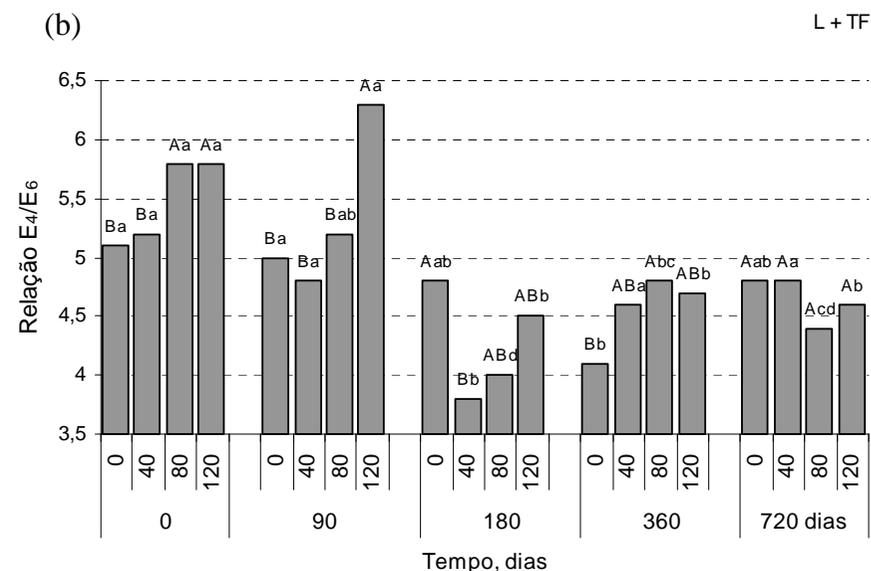
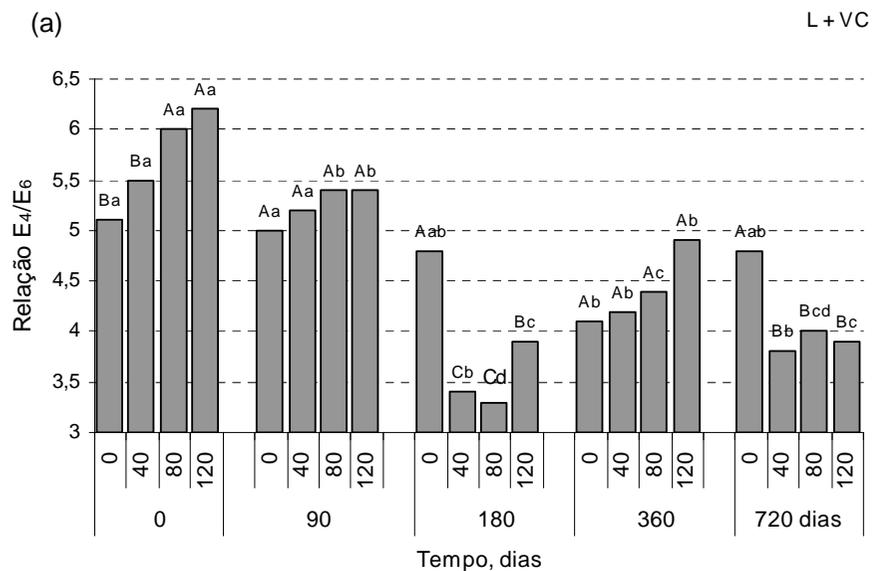


Figura 15 – Relação E₄/E₆ em ácidos húmicos isolados de solos sob aplicação de adubos orgânicos: (a) Latossolo e vermicomposto; (b) Latossolo e torta de filtro; (c) Cambissolo e vermicomposto; (d) Cambissolo e torta de filtro. Letras minúsculas comparam uma mesma dose ao longo do tempo (Teste de Tukey a 5% de probabilidade).

A matéria orgânica dissolvida apresenta propriedades óticas e uma parte desse material absorve radiação luminosa e a reemite parcialmente sob a forma de fluorescência. Para avaliação do índice de humificação das substâncias húmicas, o método da fluorescência utiliza luz no comprimento de onda do azul como fonte de excitação, em 465 nm. A excitação nesse comprimento de onda é condicionada à absorção de energia por elétrons em cadeias aromáticas (Milori et al., 2002). Rosa et al. (2005) observaram correlação direta entre a concentração de radicais livres do tipo semiquinona e a intensidade de fluorescência em diferentes solos da região Amazônica. O aumento da concentração desses radicais é um indicador de avanço no processo de humificação (Senesi, 1990; Martin-Neto et al., 1998; Bayer et al., 2002; Milori et al., 2002; Rosa et al., 2005). A área total do espectro de fluorescência é considerada proporcional ao gradiente de humificação das substâncias húmicas (Milori et al., 2002).

A Figura 16 apresenta a intensidade de fluorescência para os AH isolados dos solos em estudo. Comparando os solos sem aplicação dos adubos orgânicos, observou-se maior intensidade de fluorescência no Cambissolo, o que confirma o resultado observado pela relação E_4/E_6 . A aplicação dos resíduos orgânicos tanto no Cambissolo quanto no Latossolo promoveu imediata redução da intensidade de fluorescência, independente da dose aplicada e do tipo de material. Esse efeito foi exatamente o oposto do observado para a relação E_4/E_6 , o que também demonstra correlação entre as duas técnicas. A adição de resíduos orgânicos em solos cultivados é normalmente acompanhada pela diminuição da humificação das substâncias húmicas. Canellas et al. (2004) verificaram que a adição de resíduos sobre a superfície do solo resultou numa intensidade de fluorescência inferior àquelas onde os resíduos foram removidos da área. Da mesma forma, os autores verificaram maior presença de fluoróforos nas amostras obtidas em camadas mais profundas do solo, indicando maior participação de sistemas conjugados com o aumento da profundidade. Bayer et al. (2002) compararam o sistema de plantio direto com o convencional e observaram que a deposição do material vegetal durante nove anos no plantio direto promoveu uma redução da intensidade de fluorescência. Nesse trabalho, também foi observada correlação direta entre a área de fluorescência e a CRLS.

Os resultados da espectroscopia de fluorescência demonstraram uma dinâmica diferenciada para os dois solos após a aplicação dos adubos orgânicos. Para o Latossolo, a adição dos adubos não diminuiu a área dos espectros de maneira tão expressiva quanto no Cambissolo, embora tenham sido observadas diferenças estatísticas (Figura 16). No caso do Latossolo, uma drástica diminuição na intensidade de fluorescência foi verificada somente após 720 dias de aplicação dos adubos. Já para o Cambissolo, nas amostras obtidas em 90 dias, é possível verificar esse efeito. Ao final do experimento, independente do tipo de solo, índices bem inferiores foram observados nas amostras sob aplicação dos adubos. Isto sugere uma diminuição na participação de grupamentos aromáticos responsáveis pela emissão de fluorescência nos AH. É provável que este efeito esteja relacionado à interconversão das frações humificadas, cuja dinâmica favoreceu a preservação de componentes com menor participação de estruturas conjugadas e maior presença de grupamentos ácidos. A maior participação dos AF nas amostras obtidas ao final do experimento demonstra isso.

A análise de fluorescência apresentou concordância com a técnica de RPE. Nessa técnica, a principal informação obtida refere-se à CRLS, amplamente variável nos AH em função do tipo de solo (Rosa et al., 2005), do manejo a que os solos são submetidos (Bayer et al., 2002), da profundidade de amostragem no perfil do solo (Rosa et al., 2005) e das condições de umidade (Martin-Neto et al., 1998; Rosa et al., 2005). Esses radicais têm sido associados com o grau de humificação das substâncias húmicas (Martin-Neto et al., 1998; Bayer et al., 2002). Correlações significativas foram reportadas entre a CRLS e diferentes atributos utilizados na avaliação direta e indireta das características estruturais dos AH como a relação molar H/C e a razão E_4/E_6 , a ressonância magnética nuclear de ^{13}C , a capacidade de oxidação e espectroscopia de fluorescência (Senesi, 1990; Martin-Neto et al., 1994; Martin-Neto et al., 1998; Bayer et al., 2002; Baldotto, 2006).

A CRLS para os AH isolados do Latossolo e do Cambissolo sob aplicação de 40 Mg ha⁻¹ de torta de filtro e de vermicomposto está apresentada na Figura 17. Nas amostras sem adição de adubo, os valores dos radicais livres semiquinonas foram de $0,40 \times 10^{18}$ spins (g C⁻¹), para Latossolo, e de $0,62 \times 10^{18}$ spins (g C⁻¹), para o Cambissolo, concordando com os resultados observados pela relação C_{AH}/C_{AF} , a razão E_4/E_6 e a intensidade de fluorescência.

A adição dos adubos orgânicos diminuiu a CRLS independente do tipo de solo. Somente nas amostras obtidas em T_0 e em T_1 , para o Latossolo, a CRLS foi maior que na amostra sem adição do resíduo (Figura 17). Esse efeito deve-se, provavelmente, à incorporação de componentes aromáticos presentes na torta de filtro. O baixo valor da relação E_4/E_6 e da razão atômica H/C são evidências, embora não inequívocas, de um caráter mais aromático na matéria orgânica humificada da torta de filtro (Quadro 6). Entretanto, esse efeito foi suprimido após 180 dias quando índices menores que a amostra testemunha foram observados para a CRLS. Nas amostras subsequentes, a CRLS diminuiu gradativamente até atingir, após 360 dias, $0,08 \times 10^8$ spins ($g C^{-1}$). Não foi possível detectar a CRLS, na amostra relativa ao T_4 , para o tratamento sob aplicação de torta de filtro, assim como para o Cambissolo, nas amostras T_0 e T_1 . A impossibilidade de obtenção dessas amostras ocorreu pela baixa relação sinal/ruído, provavelmente pela presença em grau interferente de Fe^{3+} nas amostras de AH.

Já quando o Latossolo recebeu a adição do vermicomposto, foi observado decréscimo gradual da CRLS, de maneira imediata. Essa diminuição foi sistematicamente acompanhada até a última amostra obtida, após 720 dias. Senesi (1989) e Gonzáles-Perez et al. (2006) reportaram diminuição na CRLS em AH isolados de solos sob aplicação de materiais orgânicos. A adoção de manejo com adição constante de matéria orgânica, tal como o plantio direto, também determinou menores CRLS (Bayer et al., 2002). Os AH isolados do vermicomposto apresentaram características de um material com menor índice de aromaticidade e evolução química, comprovado pela relação C/N elevada e E_4/E_6 típica de materiais com caráter predominantemente alifático, como os AF.

Os menores índices da CRLS no solo sob aplicação dos adubos orgânicos sugerem que a quantidade de matéria orgânica fornecida foi suficiente para garantir uma atividade microbiana intensa, avaliada indiretamente pela decomposição rápida do C e do SO_4^{2-} ao longo do tempo, sem que a comunidade de organismos acessasse o C estabilizado nos AH.

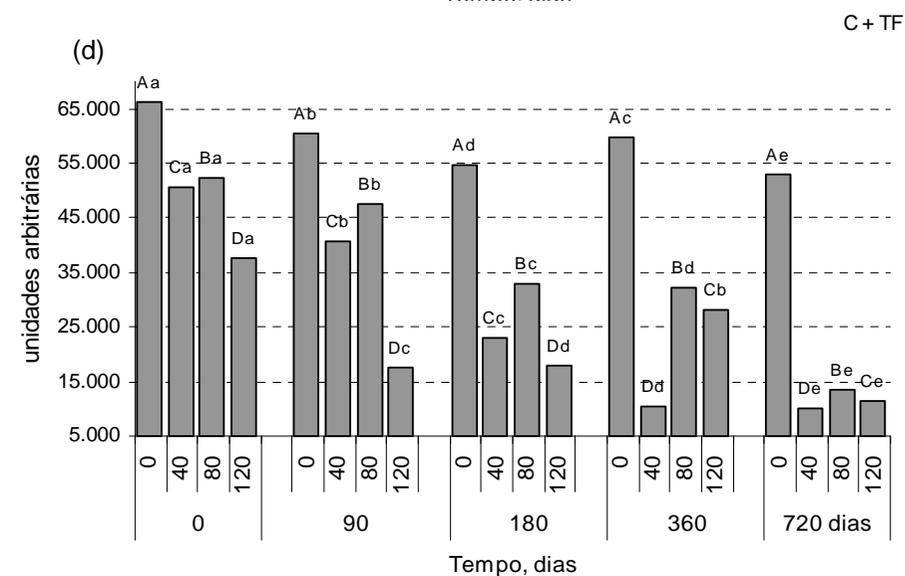
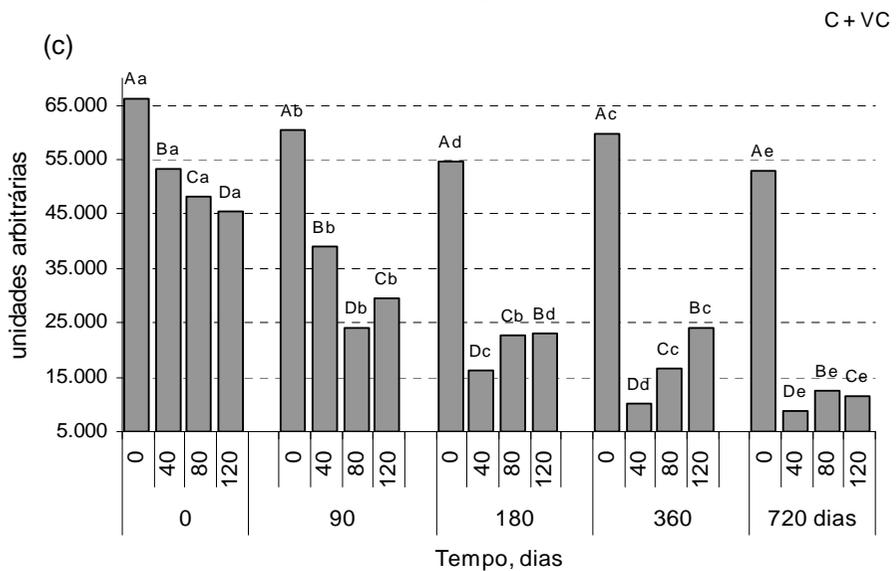
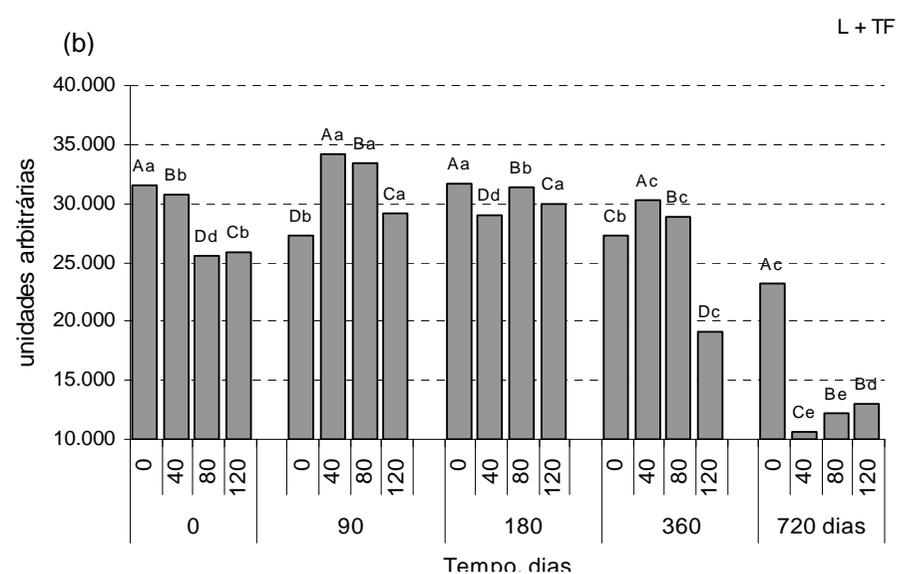
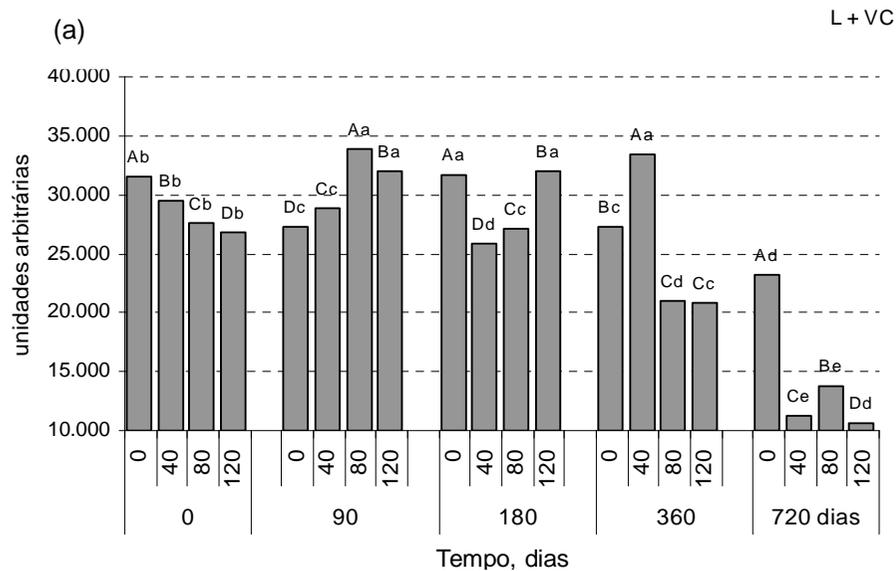


Figura 16 – Intensidade de fluorescência em ácidos húmicos isolados de solos sob aplicação de adubos orgânicos: (a) Latossolo e vermicomposto; (b) Latossolo e torta de filtro; (c) Cambissolo e vermicomposto; (d) Cambissolo e torta de filtro. Letras maiúsculas comparam as doses em cada tempo. Letras minúsculas comparam uma mesma dose ao longo do tempo (Teste de Tukey a 5% de probabilidade).

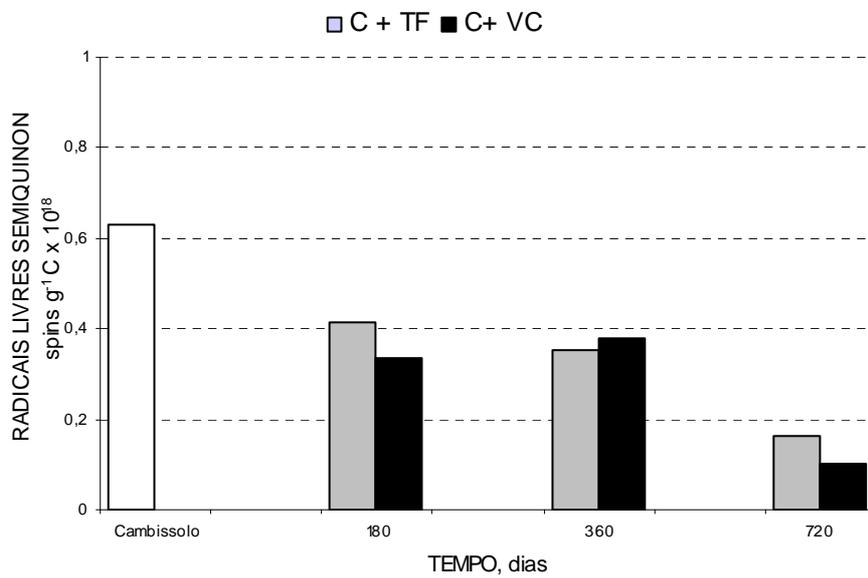
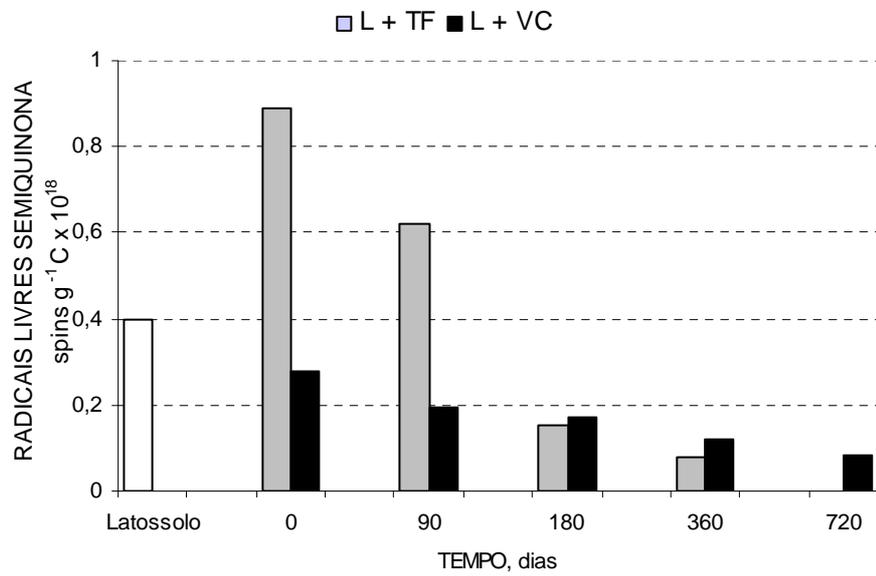


Figura 17 – Concentração de radicais livres do tipo semiquinona em ácidos húmicos num Latossolo e num Cambissolo sob aplicação de torta de filtro (TF) ou vermicomposto (VC).

4.7. Utilização da matéria orgânica para a avaliação da qualidade dos solos

Nos últimos 35 anos, a elucidação da importância da matéria orgânica sobre os diferentes fenômenos químicos, físicos e biológicos dos solos favoreceu a indicação desse compartimento como um dos principais atributos da fertilidade em ambientes tropicais. Foi relativamente rápida a associação entre o teor de C e a maior produtividade e qualidade do solo. Mais recente é a tentativa de associar essa qualidade à distribuição das frações humificadas. Kononova (1982) preconizou que os solos férteis de ambiente temperado apresentam maiores valores da relação C_{AH}/C_{AF} quando comparado aos solos de clima tropical, normalmente empobrecidos em bases. Canellas et al. (2008b) observaram que o aumento desta relação esteve associado à maior disponibilidade de nutrientes e ao caráter hidrofóbico da matéria orgânica de um Cambissolo cultivado sob o sistema de cana crua durante vários anos.

Faz-se aqui uma tentativa de avaliar de forma conjunta a disponibilização de nutrientes e a distribuição da matéria orgânica humificada em solos sob aplicação de materiais orgânicos. Assume-se que o aumento dos indicadores de fertilidade do solo está associado à maior participação da fração AH e, com isso, maior hidrofobicidade da matéria orgânica.

A Figura 18 apresenta o acompanhamento da relação C_{AH}/C_{AF} após a aplicação dos adubos orgânicos, ao longo de dois anos. Para isso, foram utilizadas as médias relativas às doses de 40, 80 e 120 Mg ha⁻¹ de vermicomposto ou de torta de filtro. No Latossolo, a adição dos adubos orgânicos promoveu um aumento expressivo da relação C_{AH}/C_{AF} nas amostras obtidas após 90 dias, passando de 0,4 (testemunha) para 1,0, quando o vermicomposto foi utilizado, e para 1,3 com o uso da torta de filtro (Figura 18). A aplicação da torta de filtro no Latossolo proporcionou os maiores aumentos nos teores de Ca²⁺, K⁺, P e SO₄²⁻ (Figuras 20, 22, 23 e 24). É possível então enfatizar a ligação entre a disponibilização destes nutrientes e aumento da relação C_{AH}/C_{AF} em solos tropicais intemperizados sob recente aplicação de matéria orgânica. Esse efeito foi evidenciado até as amostras obtidas após 360 dias de incubação, quando a relação C_{AH}/C_{AF} ainda apresentou índices bastante superiores à amostra testemunha. Entre 360 e 720 dias foi observado um decréscimo acentuado nesta relação, o que sugere que o aumento da hidrofobicidade da matéria orgânica, nesse caso, é possível somente quando a deposição de resíduos é continuada.

Uma possível concordância entre essa dinâmica e o comportamento do pH do solo também pode ser observada na Figura 19. Nesse caso, foi verificado que nos períodos de maior aumento do pH do solo (180 e 360 dias) também foram observados índices bastante superiores à testemunha da relação C_{AH}/C_{AF} . Já na última amostra é observada a tendência de diminuição do pH nos solos adubados, acompanhado pela diminuição da relação C_{AH}/C_{AF} . Esse efeito foi constatado somente para o Latossolo, cujos teores de Ca^{2+} , P e o valor de pH foram inferiores aos do Cambissolo.

Cunha et al. (2005) realizaram uma revisão dos trabalhos envolvendo alguns atributos de fertilidade e o teor de AH em diferentes solos brasileiros. Nesse caso, os autores ressaltaram principalmente a existência de correlações positivas entre AH e a CTC efetiva dos solos. É interessante ressaltar que as amostras do Latossolo submetidos à aplicação de 40 Mg ha^{-1} de torta de filtro apresentaram um ligeiro incremento nas cargas variáveis até o período de 360 dias. Da mesma forma, no mesmo período, a tendência de maior CTC após aplicação da torta de filtro foi verificada. É possível estabelecer, então, uma ligação entre a hidrofobicidade da matéria orgânica, a CTC e a densidade de cargas variáveis em solos intemperizados submetidos à aplicação de adubos orgânicos.

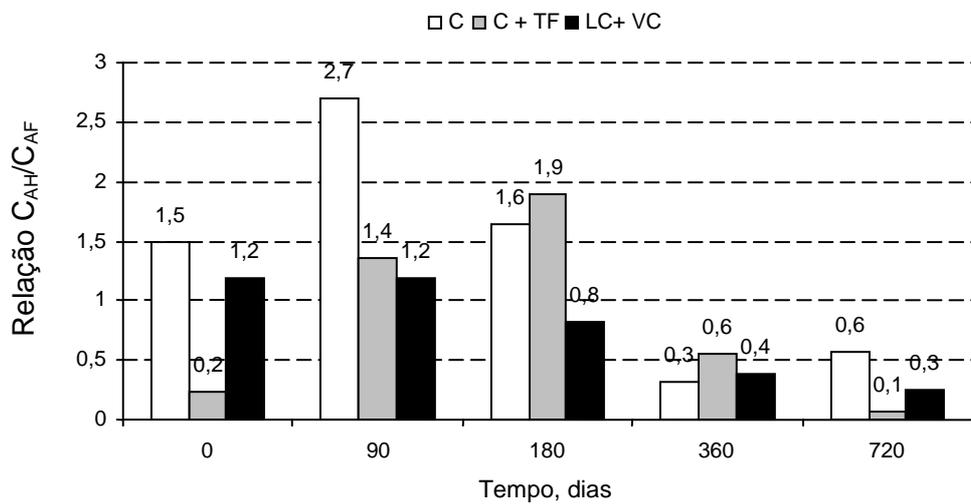
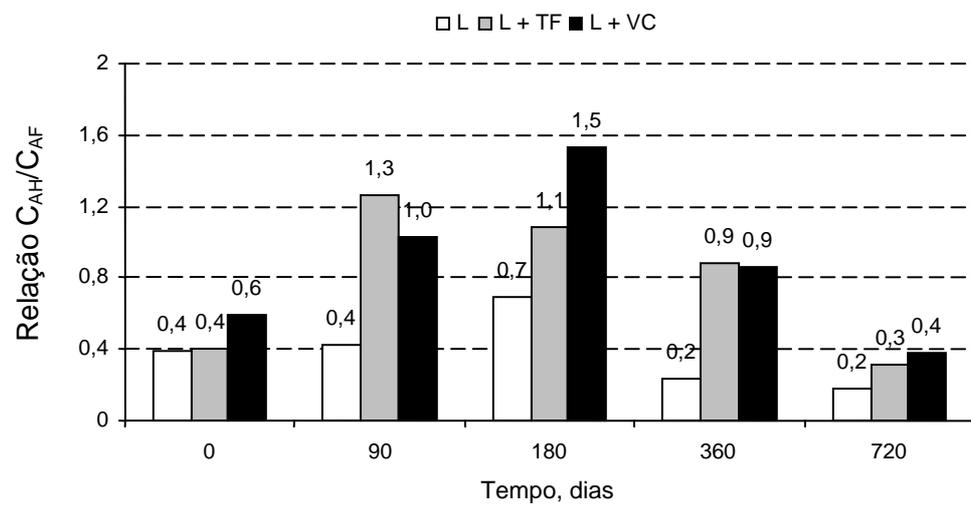
No Cambissolo, a adição dos adubos orgânicos não apresentou um padrão evidente de aumento da relação C_{AH}/C_{AF} da mesma forma que o Latossolo. Isso pode ser um reflexo da maior participação de Ca^{2+} e Mg^{2+} , bem como em função do pH ligeiramente superior no Cambissolo. É possível observar uma relação entre o comportamento do pH dos solos e as frações humificadas. Assim, para o Latossolo, as amostras obtidas após 90 e 180 dias de incubação dos adubos apresentaram um aumento no valor de pH, com reflexos na maior relação entre C_{AH}/C_{AF} (Figura 19). Já para o Cambissolo, que apresentou pH naturalmente superior, a aplicação dos adubos não representou o mesmo aumento até o período de 180 dias. Da mesma forma, não houve uma tendência nítida de aumento da relação entre AH e AF nesse período. Portanto, é possível inferir que em solos menos intemperizados, com maior disponibilidade de Ca^{2+} e pH naturalmente mais elevado, a aplicação de adubos orgânicos não resulta na formação de substâncias húmicas com caráter hidrofóbico de maneira tão rápida quanto nos solos intemperizados. Este pode, talvez, constituir o principal viés do

uso das frações humificadas como indicador de fertilidade, uma vez que as principais características associadas à produção das culturas (i.e. teor de Ca^{2+} , Mg^{2+} , P, K^+ , a CTC e o valor de pH) do Cambissolo apresentam-se em magnitudes relativamente mais elevadas.

É importante mencionar também o comportamento do Mg^{2+} nos solos sob aplicação da torta de filtro (Figura 21). Para o Latossolo, um período de diminuição na disponibilidade desse nutriente foi verificado entre 90 e 720 dias. Não foi possível correlacionar essa diminuição ao padrão de distribuição dos AH e dos AF nesse período. Já para o Cambissolo, uma diminuição acentuada dos níveis de Mg^{2+} foi verificada entre a instalação do experimento e 360 dias. Ao contrário do Latossolo, entretanto, essa diminuição foi acompanhada pela redução drástica na relação $C_{\text{AH}}/C_{\text{AF}}$ (Figura 18). Pode-se supor, então, a importância do Mg^{2+} para a manifestação do caráter hidrofóbico, ou hidrofílico, da matéria orgânica em solos que se encontram em menor estágio de intemperismo.

Outro evento importante que ocorreu independente do tipo de solo ou da fonte de matéria orgânica aplicada foi a diminuição da disponibilidade de SO_4^{2-} no período compreendido entre 360 e 720 dias (Figura 24). Avaliando de forma conjunta com os indicadores de qualidade da matéria orgânica, entretanto, esse evento não pode ser associado a qualquer modificação na distribuição das frações humificadas da matéria orgânica. É provável, portanto, que o SO_4^{2-} não participe de maneira ativa no processo de evolução das substâncias húmicas alcalino solúveis, estando mais associado a outros compartimentos como a fração huminas ou as substâncias não humificadas.

O conjunto de informações alcançadas neste trabalho sugere que é possível associar o caráter hidrofóbico da matéria orgânica de solos altamente intemperizados ao aumento dos teores de nutrientes como Ca^{2+} , P, K^+ , CTC e ao pH do solo, principalmente. Para solos menos intemperizados, entretanto, os indicadores clássicos de aumento da qualidade da matéria orgânica ($C_{\text{AH}}/C_{\text{AF}}$) podem não refletir o “status” de fertilidade preconizada pelo modelo tecnicista de agricultura. Aqui, mais uma vez, o papel da matéria orgânica para os solos intemperizados é explicitado, não só como fornecedor de nutrientes ou de cargas elétricas, mas também como um poderoso índice de avaliação da fertilidade em manejos baseados na aplicação de resíduos orgânicos.



L: Latossolo; C: Cambissolo; TF: Torta de filtro e VC: Vermicomposto.

Figura 18 – Relação C_{AH}/C_{AF} em amostras de solos submetidos à adição de vermicomposto e torta de filtro.

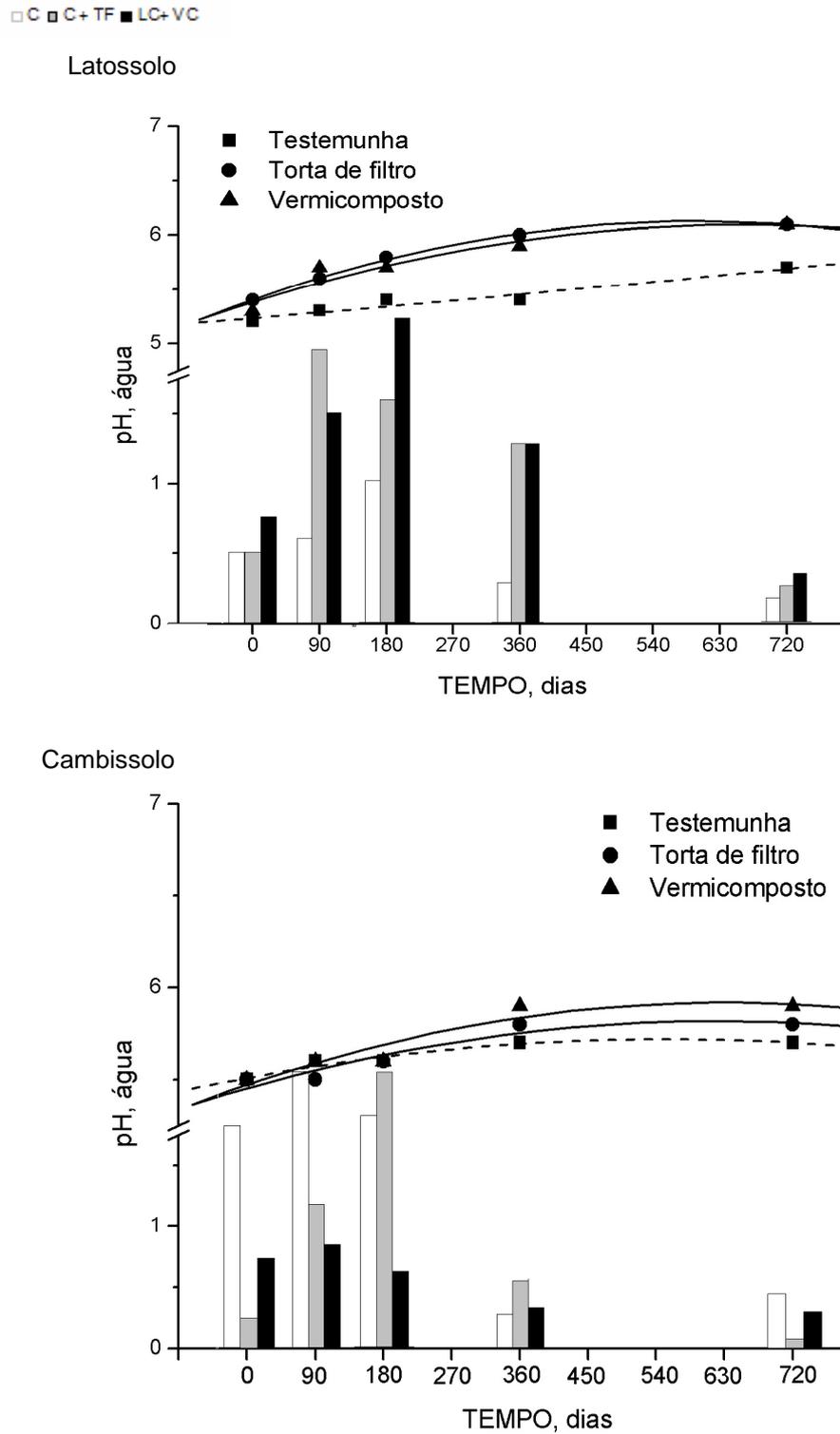


Figura 19 – Relação C_{AH}/C_{AF} e o pH de solos sob aplicação de adubos orgânicos.

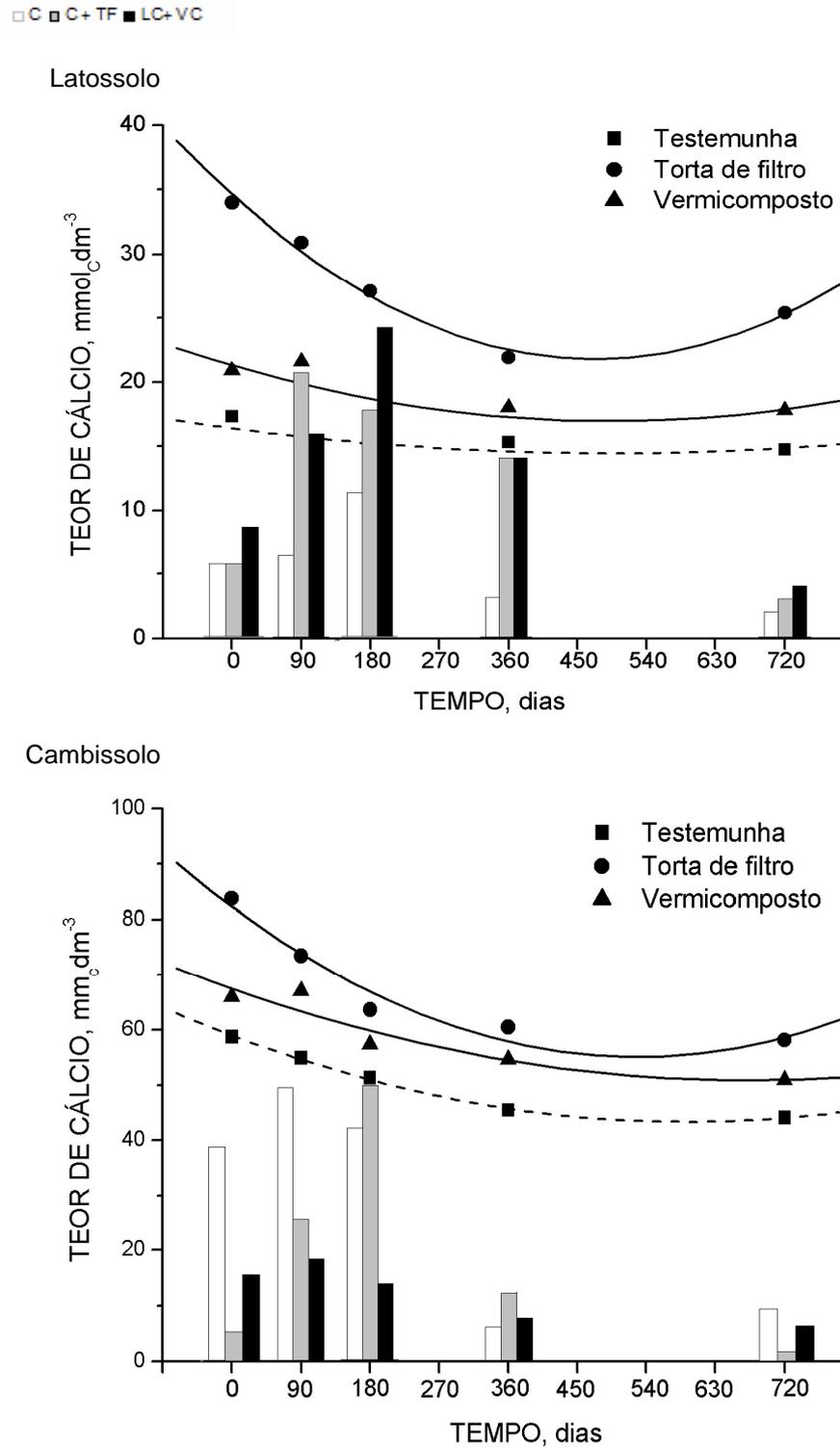


Figura 20 –. Relação C_{AH}/C_{AF} e o teor de cálcio em solos sob aplicação de adubos orgânicos.

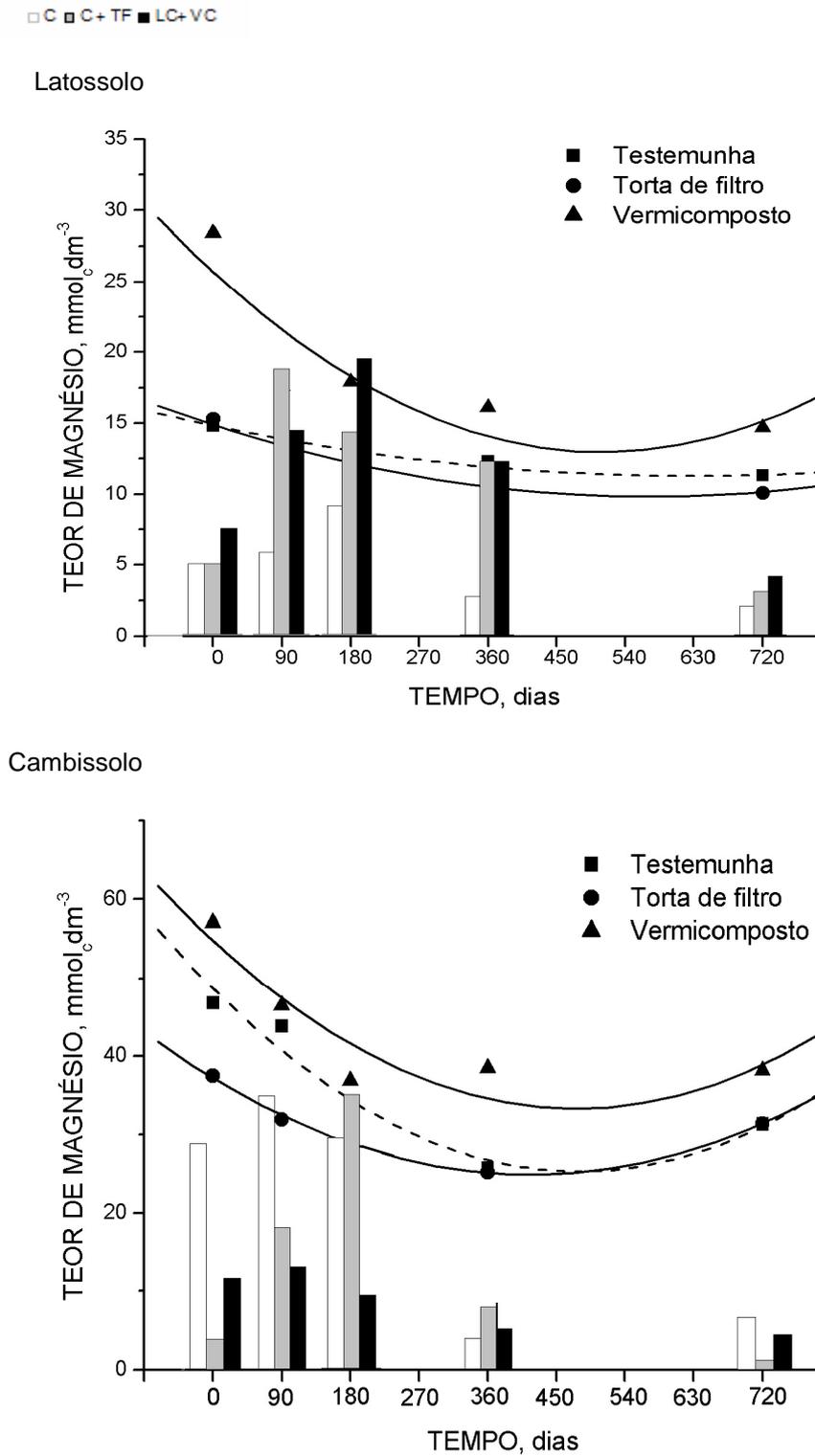


Figura 21 –. Relação C_{AH}/C_{AF} e o teor de magnésio em solos sob aplicação de adubos orgânicos.

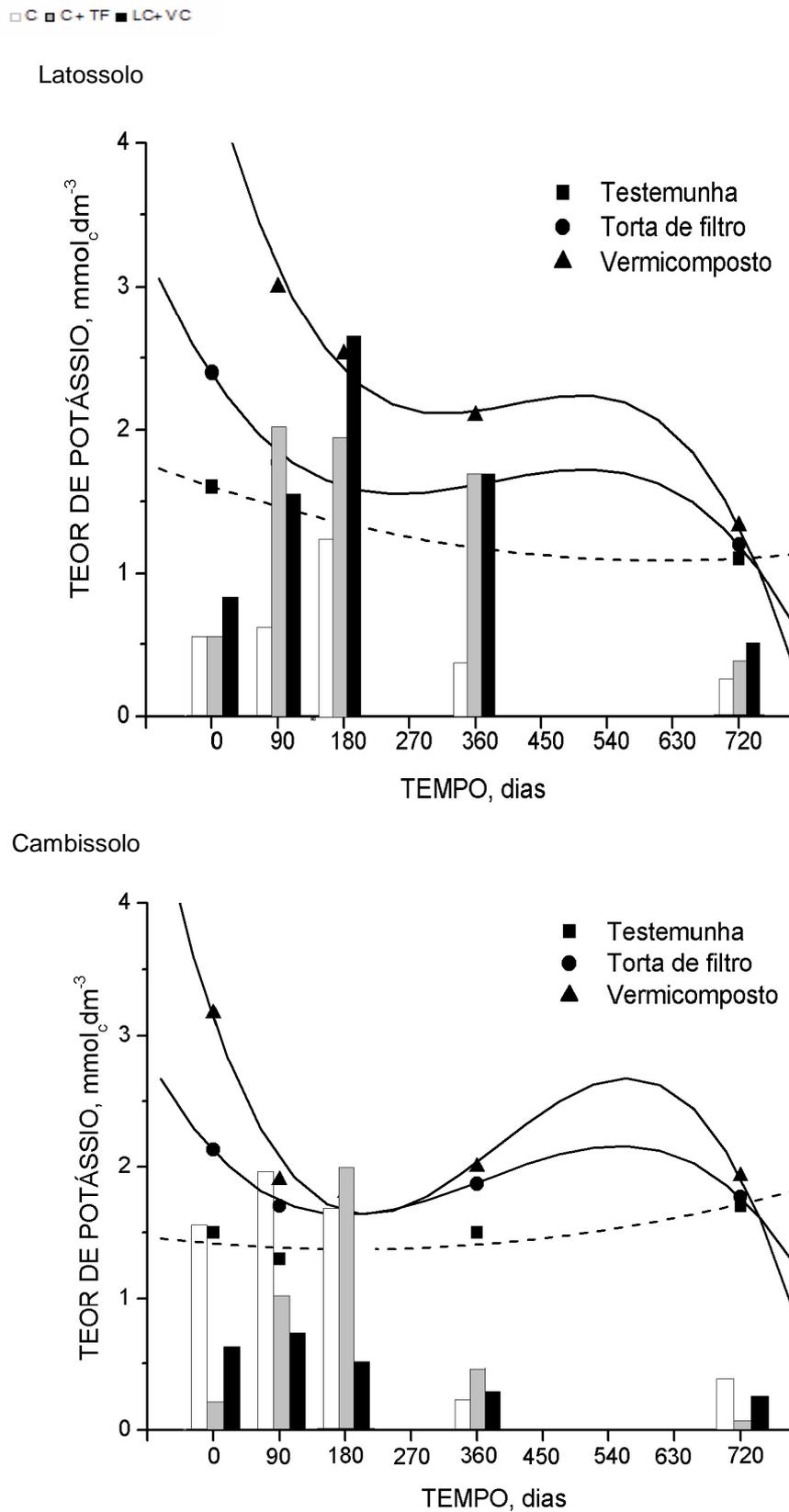


Figura 22 –. Relação C_{AH}/C_{AF} e o teor de potássio em solos sob aplicação de adubos orgânicos.

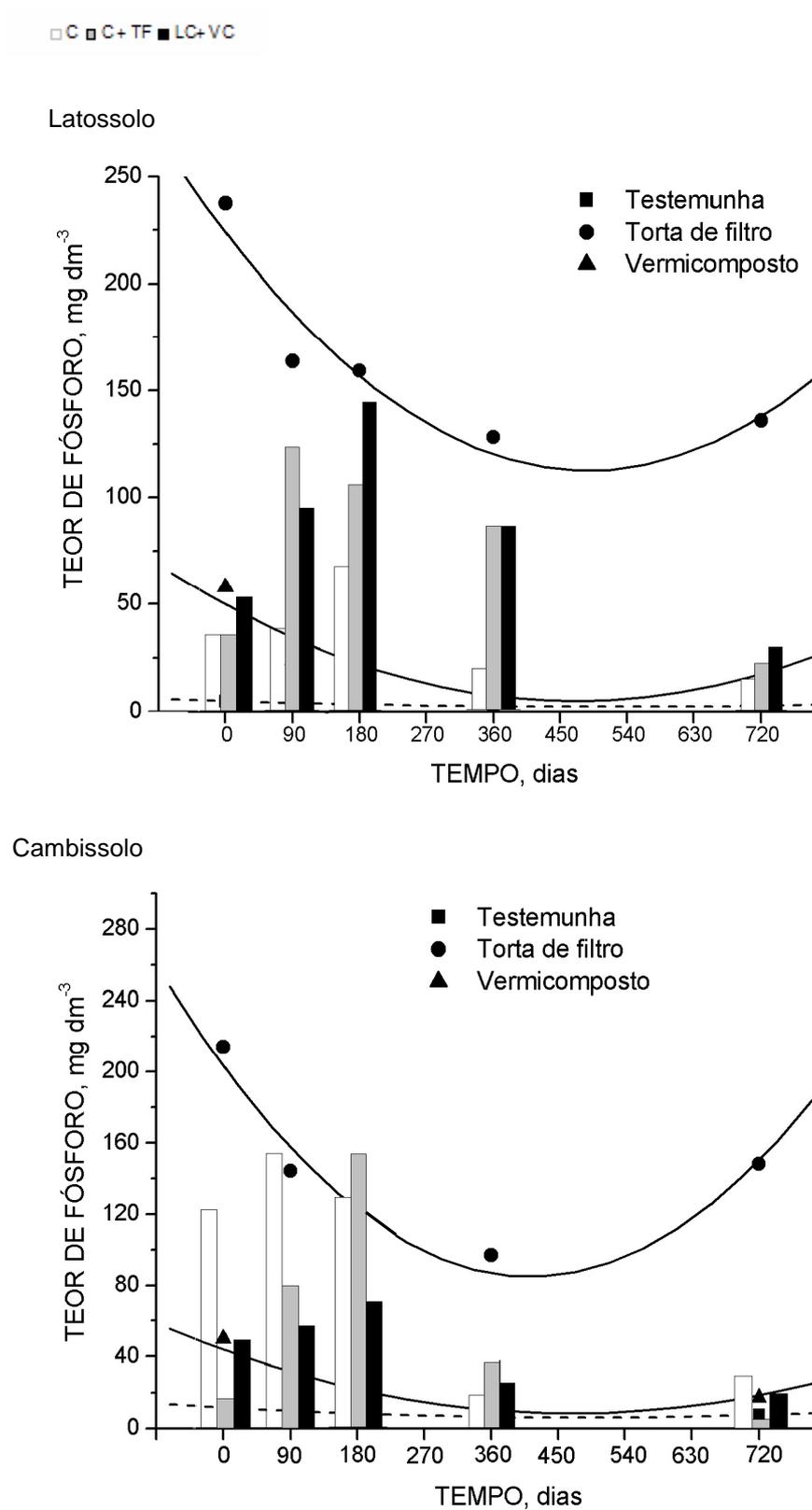


Figura 23 –. Relação C_{AH}/C_{AF} e o teor de fósforo em solos sob aplicação de adubos orgânicos.

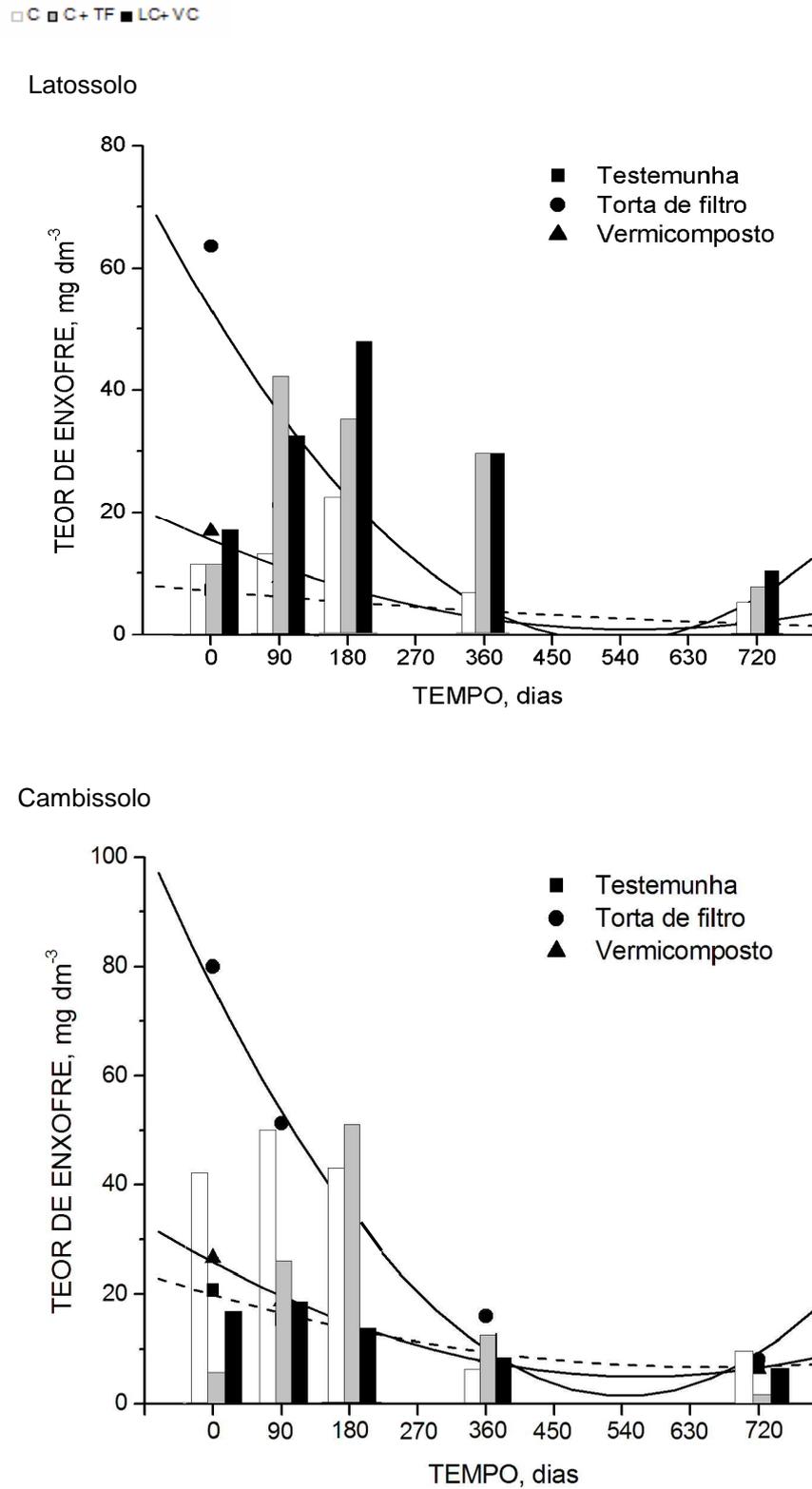


Figura 24 –. Relação C_{AH}/C_{AF} e o teor de enxofre em solos sob aplicação de adubos orgânicos.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho teve o objetivo de reunir informações que permitam associar as características químicas e espectroscópicas da matéria orgânica humificada aos indicadores usuais de fertilidade em solos submetidos à aplicação de adubos orgânicos. Para isso, foi conduzido um experimento em casa de vegetação, durante um período de dois anos, utilizando amostras de um Latossolo Amarelo Eutrófico típico e de um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico, as quais receberam doses equivalentes a 0, 40, 80 e 120 Mg ha⁻¹ de torta de filtro ou de vermicomposto de esterco bovino. Amostras dos solos com material incubado foram obtidas na instalação do experimento e após 90, 180, 360 e 720 dias. Numa primeira etapa, avaliaram-se algumas características químicas dos solos e dos materiais orgânicos, a disponibilização de nutrientes a partir da aplicação dos adubos orgânicos, a participação das frações humificadas da matéria orgânica e a dinâmica das cargas variáveis e permanentes. Numa segunda etapa, ácidos húmicos dos solos sob tratamento foram isolados, purificados e avaliados por meio da sua composição elementar, relação E₄/E₆, intensidade de fluorescência e a concentração de radicais do tipo semiquinonas.

A hipótese testada é que ocorre um aumento relativamente rápido do caráter hidrofóbico da matéria orgânica do solo após a adição de adubos orgânicos. Com isso, seria observado maior teor de AH e maior disponibilidade de nutrientes, acarretando em melhoria das condições de fertilidade do solo. Essa hipótese está baseada na premissa de que a matéria orgânica é condicionadora primordial da fertilidade do solo e, como tal, as suas características podem ser

utilizadas como determinante ecológico na sustentabilidade da atividade agrícola, principalmente em solos intemperizados.

Os resultados alcançados permitiram as seguintes conclusões:

1. A aplicação dos adubos orgânicos alterou a disponibilidade de nutrientes nos solos e as características estruturais dos ácidos húmicos, já nas amostras obtidas na instalação do experimento;
2. Para o Latossolo, observou-se a maior participação de matéria orgânica com caráter hidrofóbico nas amostras obtidas após 90 dias de aplicação dos adubos, com esse efeito pronunciado até aproximadamente um ano;
3. A maior hidrofobicidade da matéria orgânica, no Latossolo, esteve condicionada à maior disponibilidade de Ca^{2+} , P e ao pH;
4. Para o Cambissolo, não houve concordância entre o acúmulo de ácidos húmicos e a disponibilização de nutrientes;
5. A adição dos materiais não alterou a distribuição das cargas elétricas no Cambissolo. Para o Latossolo, observou-se incremento nas cargas elétricas variáveis até o período de um ano de aplicação da torta de filtro;
6. O procedimento de adsorção de Cs^+ apresenta limitações na avaliação da carga estrutural em solos altamente intemperizados que receberam recente aplicação de matéria orgânica, superestimando a participação das cargas permanentes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abelson, P. H. (1999) A potential phosphate crisis. *Science*, 283:2015-2016.
- Abreu Jr., C. H., Muraoka, T., Lavorante, A. F. (2000) Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto lixo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:635-647.
- Adani, F., Tambone, F. (2005) Long-term effect of sewage sludge application on soil humic acids. *Chemosphere*, 60:1214-1221.
- Alleoni, L. R. F., Camargo, O. A. (1994) Potencial elétrico superficial e carga elétrica líquida de Latossolos Ácricos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 18:181-185.
- Almeida, D. L. (1991) *Contribuição da adubação orgânica para a fertilidade do solo*. Tese (Ph.D) – Itaguaí-RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, 192p.
- Alves, M. E. (2002) *Atributos mineralógicos e eletroquímicos, adsorção e dessorção de sulfato em solos paulistas*. Tese (Doutorado) – Piracicaba-SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP, 154p.
- Alves, W. L., Passoni, A. A. (1997) Composto e vermicomposto de lixo urbano na produção de mudas de Oiti (*Licania tomentosa* Benth) para arborização. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 32:1053-1058.
- Anderson, S. J., Sposito, G. (1991) Cesium adsorption methods for measuring accessible structural surface charge. *Soil Science Society of American Journal*, 55:1569-1576.

- Aquino, A. M., Almeida, D. L., Guerra, J. G. M., De-Polli, H. (2005) Biomassa microbiana, colóides orgânicos e nitrogênio inorgânico durante a vermicompostagem de diferentes substratos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40:1087-1093.
- Aquino, A. M., Almeida, D. L., Freire, L. R., De-Polli, H. (1994) Reprodução de minhocas (*Oligochaeta*) em esterco bovino e bagaço de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 29:161-168.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., Metzger, J. D. (2004) The influence of vermicompost applications to strawberry: Part 1: Effects on growth and yield. *Bioresource Technology*, 93:145-153.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Metzger, J. D., Lucht, C. (2005) Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia*, 49:297-306.
- Athani, S. I., Hulamanai, N. C., Shirol, A. M. (1999) Effect of vermicomposts on the maturity and yield of banana. *South India Horticulture*, 47:4-7.
- Ávila, U. (1999) *Criação de minhocas sem segredo*. Guaíba: Editora Agropecuária, 74p.
- Baldotto, M. A. (2006) *Propriedade redox e grupamentos funcionais de ácidos húmicos*. Tese (Doutorado) - Campos dos Goytacazes-RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 100p.
- Barreto, W. O. (1986) *Eletroquímica de solos tropicais de carga variável: Capacidade da dupla camada elétrica*. Tese (Ph.D) – Itaguaí-RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, 263p.
- Bayer, C., Martin-Neto, L., Mielniczuk, J., Saab, S. C., Milori, D. M. B. P., Bagnato, U. S. (2002) Tillage and cropping systems effects on soil humic acid characteristics as determined by electron resonance and fluorescence spectroscopies. *Geoderma*, 105:81-92.
- Bayer, C., Mielniczuk, J. (1999) Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, G. de A., Camargo, F. A. O. (eds) *Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, p. 09-23.
- Bayer, C., Martin-Neto, L., Saab, S. C. (2003) Diminuição da humificação da matéria orgânica de um Cambissolo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:537-544.
- Bell, L. C., Gillman, G. P. (1978) Surface changes characteristics and soil solution composition of highly weathered soils. In: Andrew, C. S., Kamprath, E. J. (eds) *Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils*. Melbourne: CSIRO, p. 37-57.

- Bettiol, W., Ghini, R., Galvão, J. A. H., Ligo, M. A. V., Mineiro, J. L. C. (2002) Soil organism in organic and conventional cropping systems. *Scientia Agricola*, 59:565-572.
- Brasil Sobrinho, M. O. C. (1958) *Estudos sobre o aproveitamento da torta de filtro de usina de cana-de-açúcar como fertilizante*. Tese (Doutorado) – Piracicaba-SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ-USP, 109p.
- Brunetto, G., Gatiboni, L. C., Rheinheimer, D. S., Saggin, S., Kaminski, J (2005). Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:565-571.
- Buchanam, M. A., Russel, E., Block, S. D. (1988) Chemical characterization and nitrogen mineralization potentials of vermicompost derived from differing wastes. In: Edwards, C. A., Neuhauser, E. F. (eds) *Earthworms in environmental and waste management*. Netherlands: SPB Academic Publishing, p.231-240.
- Busato, J. G., Zandonadi, D. B., Dobbss., L. B., Velloso, A. C. X., Façanha, A. F., Canellas, L. P. (2008) Humic-like substances isolated from residues of sugarcane industry as root growth promoter. *Bioresource Technology*, artigo no prelo.
- Calderoni, G., Schnitzer, M. (1984) *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48:2045.
- Camargo, F. O., Santos, G. A., Guerra, J. G. M. (1999) Macromoléculas e substâncias húmicas. In: Santos, G. A., Camargo, F. A. O. (eds) *Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, p. 27-39.
- Campitelli, P. A., Velasco, M. I., Ceppi, S. B. (2006) Chemical and physicochemical characteristics of humic acids extracted from compost, soil and amended soil. *Talanta*, 69:1234-1239.
- Canellas, L. P., Berner, P. G., Silva, S. G., Barros e Silva, M., Santos, G. A. (2000) Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no Estado do Rio de Janeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35:133-143.
- Canellas, L. P., Espíndola, J. A., Guerra, J. G. M., Teixeira, M. G., Velloso, A. C. X., Rumjanek, V. M. (2004) Phosphorus analysis in soil under herbaceous perennial leguminous cover by nuclear magnetic spectroscopy. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:589-596.
- Canellas, L. P., Velloso, A. C., Marciano, C. R., Ramalho, J. G. P., Rumjanek, V. M., Resende, C. E., Santos, G. A. (2003) Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:935-344.

- Canellas, L. C., Rumjanek, V. M. (2005) Extração, isolamento e análise de substâncias húmicas. *In: Canellas, L. P.; Santos, G. A. (eds.) Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*. Campos dos Goytacazes, p.13-33.
- Canellas, L. P., Zandonadi, D. B., Busato, J. G., Baldotto, M. A., Simões, M., Martin-Neto, L., Façanha, A. R., Spaccini, R., Piccolo, A. (2008a) Bioactivity and chemical characteristics of humic acids from tropical soils with different weathering degree. *Soil Science*, artigo no prelo.
- Canellas, L. P., Busato, J.G., Dobbss, L. B., Baldotto, M. A., Rumjanek, V. M. (2008b) Organic matter hydrophobicity as soil quality. *Biology and Fertility of Soil*, artigo no prelo.
- Canellas, L. P., Santos, G. A., Rumjanek, V. M., Moraes, A. A., Guridi, F. (2001) Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36:1529-1538.
- Chagas, A. P. (2007) A síntese da amônia: alguns aspectos históricos. *Química Nova*, 30:240-247.
- Chaoui, H. I., Zibilske, L. M., Ohno, T. (2003) Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry*, 35:295-302.
- Chen, J., Gu, B., LeBoeuf, E. J., Pan, H., Dai, S. (2002) Spectroscopic characterization of the structural and functional properties of natural organic matter fractions. *Geoderma*, 48:59-68.
- Chen, Z., Senesi, N., Schnitzer, M. (1977) Information provided on humic substances by E_4/E_6 ratios. *Soil Science Society of American Journal*, 41:352-358.
- Chorover, J., DiChiaro, M. J., Chadwick, O. A. (1999) Structural charge and cesium retention in a chronosequence of tephritic soils. *Soil Science Society of American Journal*, 63:169-177.
- Chorover, J., Sposito, G. (1995) Surface charge of kaolinitic tropical soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59:875-884.
- CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 5^o Aproximação. Ribeiro, A. C., Guimarães, P. T. G., Alvarez V., V. H. (eds). Viçosa: UFV, 359p.
- Cunha, T. J. F., Canellas, L. P., Santos, G. A., Ribeiro, L. P. (2005) Fracionamento da matéria orgânica em solos brasileiros. *In: Canellas, L. P.; Santos, G. A. (eds.) Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*. Campos dos Goytacazes, p.54-80.

- deHaan, S. (1981) Results of municipal waste compost research over more than fifty years at the Institute for Soil Fertility at Haren/Groningen, the Netherlands. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 29:49–61.
- Demattê, J. A. M., Silva, M. L. S., Rocha, G. C., Carvalho, L. A., Formaggio, A. R., Firme, L. P. (2005) Variações espectrais em solos submetidos à aplicação de torta de filtro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:317-326.
- Dick, D. P., Dick, Y. P., Da Silva, L. F., Essig, C., Zortea, R. B. (1997) Caracterização de produtos de decomposição de lodos orgânicos em diferentes tempos de meio de digestão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:1-8.
- Dobbss, L. B. (2006) *Eletroquímica do horizonte superficial de Latossolos e caracterização de suas substâncias húmicas*. Tese (Mestrado) – Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 86p.
- Edwards, C. A. (1995) Historical overview of vermicomposting. *Biocycle*, 36:56–58.
- Ehlers, E. (1999) *Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma*. Guaíba: Editora Agropecuária, 157p.
- Elkins, D. M., Ensminger, L. E. (1971) Effect of soil pH on the availability of adsorbed sulfate. *Soil Science Society American Proceeding*, 35:931-934.
- Elvira, C., Sampedro, L., Domenguez, J., Mato, S. (1997) Sludge from paper-pulp industry with nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry*, 29:759-762.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1999) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 412p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1997) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 370p.
- Emsley, J. (1998) *The Elements*. Oxford: Clarendon Press, 537p.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (1999). The state of food insecurity in the world. Obtido no site <http://www.fao.org> em fevereiro de 2008.
- Feller, C., Brown, G. G., Blanchart, E., Deleporte, P., Chemyanskii, S. S. (2003) Charles Darwin, earthworms and the natural sciences: various lessons from past to future. *Agriculture. Ecosystems and Environmental*, 99:29-49.
- Ferreira, A. V., Figueiredo, A. M. R., Teixeira, E. C. (1999) Custos e Benefícios de um Programa de Garantia de Renda aplicado ao PRONAF. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 37:31-50.

- Fontes, M. P. F., Camargo, O. A., Sposito, G. (2001) Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Scientia Agricola*, 58:627–646.
- Fontes, M. P. F., Sposito, G. (1995) Medição da densidade de carga estrutural acessível em Latossolos brasileiros com diferentes mineralogias. *Anais do XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 25, Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Viçosa, p.292-294.
- Foth, H. D. (1978) *Fundamentals of soil science*. New York: John Wiley and Sons, 436p.
- Furtini Neto, A. E., Vale, F. R., Resende, A. V., Guilherme, L. R. G., Guedes, G. A. (2001) *Fertilidade do solo*. Lavras: UFLA/FAEPE, 252p.
- Garcia, C., Hernandez, J., Costa, F. (1991) Comparison of humic acids derived from city refuse with more developed humic acids. *Soil Science Plant Nutrition*, 38:339-346.
- Garg, P., Gupta, A., Satya, S. (2006) Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*, 97:391-395.
- Giusquiani, P., Marucchini, C., Businelli, M. (1988) Chemical properties of soils amended with compost of urban waste. *Plant Soil*, 109:73-78.
- Goebel, M., Bachmann, J., Woche, S. K., Fischer, W. R. (2005) Soil wettability, aggregate stability, and the decomposition of soil organic matter. *Geoderma*, 128:80–93.
- González Pérez, M., Martin-Neto, L., Colnago, L. A., Milori, D. M. B. P., Camargo, O. A., Berton, R., Bettiol, W. (2006) Characterization of humic acids extracted from sewage sludge-amended oxisols by electron paramagnetic resonance. *Soil and Tillage Research*, 91:95-100.
- Guerra, J. G. M., Santos, G. A. (1999) Métodos químicos e espectroscópicos. In: Santos, G. de A.; Camargo, F. A. O. (eds) *Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, p. 267-291.
- Hartenstein, R., Neuhauser, E. F., Kaplan, O. L. (1979) Reproductive potential of earthworms *Eisenia foetida*. *Decologia*, 43:329-340.
- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., Nelson, W. L. (1999) *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*. New Jersey: Prentice Hall, 499p.
- Hecht, S. B. (2002) Evolução do pensamento agroecológico. In: Altieri, M. A. (ed.) *Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável*. Guaíba: Agropecuária, p.21-51.

- Hingston, R. J., Posner, A. M., Quirk, J. P. (1972) Anion adsorption by goethite and gibbsite I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. *Journal of Soil Science*, 23:177-193.
- Hue, N. V., Craddock, G. R., Adams, F. (1986) Effect of organic acids on aluminium toxicity in subsoils. *Soil Science*, 50:28-34.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. (2008) Banco de dados agregado. Obtido no site <http://www.ibge.gov.br> em fevereiro de 2008.
- Iglesias-Jimenez, E., Alvarez, C. (1993). Apparent availability of nitrogen in composted municipal refuse. *Biology and Fertility of Soils*, 16:313–318.
- Jiménez, J. J., Cepeda, A., Decaens, T., Oberson, A., Friesen, D. K. (2003) Phosphorus fractions and dynamics in surface earthworm casts under native and improved grassland in a Colombian savanna Oxisol. *Soil Biology and Biochemistry*, 35:715-727.
- Kamprath, E. J., Nelson, W. L., Fitts, J. W. (1956) The effect of pH, sulfate and phosphate concentrations on the adsorption of sulfate by soils. *Soil Science Society American Proceedings*, 19:463-466.
- Kist, S. L. (2005) *Suprimento de potássio em Argissolo com histórico de adubação potássica*. Tese (Mestrado) – Santa Maria - RS, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 68p.
- Kononova, M. M. (1966) *Soil organic matter*. Oxford: Pergamon, 404p.
- Kononova, M. M. (1982) *Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Barcelona: Oikos-tau s.a., 364p.
- Kuwatsuka, S., Tsutsuki, K., Kumada, K. (1978) Chemical studies on soil humic acid I. Elementary composition of humic substances. *Soil Science Plant Nutrition*, 24:337-347.
- Landgrafh, M. D., Alves, M. R., Silva, S. C. (1999) Caracterização de ácidos húmicos de vermicomposto de esterco bovino compostado durante 3 e 6 meses. *Química Nova*, 22:483-486.
- Lavelle, P. (1997) Fauna activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research*, 27:93-132.
- Lens, P., Tichy, R., Pol, L. H. (2000) Sulfur cycle. In: Lederberg, J. (ed.) *Encyclopedia of microbiology*. San Diego: Academic. p. 495-505.
- Lepsch, I. F. (2002) *Formação e conservação dos solos*. São Paulo: Oficina de textos, 178p.

- Lim, C. H., Jackson, M. L., Koons, R. D., Heimke, P. A. (1980) Kaolins: sources of different cation exchange capacities and cesium retention. *Clays Clay Mineralogy*, 28:223-229.
- Luttemberg, J. (2001) O absurdo da agricultura moderna. *Estudos modernos*, 43:61-74.
- Mahieu, N., Powlson, D. S., Randall, E. W. (1999) Statistical analysis of published carbon-13 NMR spectra of soil organic matter. *Soil Science Society of American Journal*, 63:307-319.
- Malavolta, E. (1980) *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Editora Ceres, 251p.
- MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (2008). Obtido no site <http://www.agricultura.gov.br> em fevereiro de 2008.
- Martin-Neto, L., Andriulo, A. E., Tragheta, D. G. (1994) Effects of cultivation on ESR spectra of organic matter from size fractions of a Mollisol. *Soil Science*, 157:365-372.
- Martin-Neto, L., Rosell, R., Sposito, G. (1998) Correlation of spectroscopic indicators of humification with mean annual rainfall along a temperate grassland climosequence. *Geoderma*, 85:305-311.
- Mendonça, E. S., Rowell, D. L. (1996) Mineral and organic fractions of two oxisols and their influence on the effective cation-exchange capacity. *Soil Science Society of America Journal*, 60:1888-1892.
- Meunchang, S., Panichsakpatanaa, S., Weaver, R. W., (2005). Co-composting of filter cake and bagasse: by-products from a sugar mill. *Bioresource Technology*, 96:437-442.
- Miano, T. M., Senesi, N., (1992) Synchronous excitation fluorescence spectroscopy applied to soil humic substances chemistry. *The Science of the Total Environment*, 117/118:41-51.
- Milori, D. M. B. P., Martin-Neto, L., Bayer, C., Mielniczuck, J., Bagnato, V. S. (2002) Humification degree of soil humic acids determined by fluorescence spectroscopy. *Soil Science*, 167:739-749.
- Mohee, R., Beeharry, R. P. (1999) Life cycle analysis of compost incorporated sugarcane bioenergy systems in Mauritius. *Biomass and Bioenergy*, 17:73-83.
- Molina, R. M. (1995) *A torta de filtro e o bagaço no comportamento da biota, propriedades físicas e produtividade de um solo cultivado em cana-de-açúcar*. Tese (PhD) – Itaguaí - RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, 96p.

- Nardi, S., Morari, F., Berti, A., Tosoni, M., Giardini, L. (2004) Soil organic matter properties after 40 years of different use of organic and mineral fertilizers. *European Journal of Agronomy*, 21:357-367.
- Novais, R. F., Smyth, T. J. (1999) *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa: UFV/DPS, 399p.
- Orozco, S. H., Cegarra, J., Trujillo, L. M., Roig, A. (1996) Vermicompost of coffee pulp using the earthworm *Eisenia foetida*: effects on C and N contents and the availability of nutrients. *Biology and Fertility of Soils*, 22:162-166.
- Parfitt, R. L., Smart, R. S. C. (1978) The mechanism of sulfate absorption of iron oxides. *Soil Science Society American Journal*, 42:48-50.
- Peixoto, R. T. G. (1995) *Surface chemical properties of Oxisols derived from Paraná basalt (Brazil)*. Tese (Doutorado) - Ohio, Ohio State University, 188p.
- Peixoto, R. T. G. (1997) Matéria orgânica e a dinâmica das cargas elétricas dos solos: processos e conseqüências. *Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 26, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/EMBRAPA-CNPS, CD-ROM.
- Penso, J. S. A., Braga, J. M., Thiébaud, J. T. L. (1982) Avaliação da solubilidade de fosfato de Patos. III – Mistura com torta de filtro e vinhaça. *Revista Ceres*, 29:516-525.
- Piccolo, A. (2002) The supramolecular structure of humic substances: a novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. *Advances in Agronomy*, 75:57-134.
- Piccolo, A., Mbagwu, J. S. C. (1990) Role of hydrophobic components of soil organic matter on soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal*, 63:1801-1810.
- Piccolo, A., Nardi, S., Conchieri, G. (1996) Micelle-like conformation of humic substances as revealed by size exclusion chromatography. *Chemosphere*, 33: 595-602.
- Poole Jr., C. P. (1967) *Electron spin resonance: a comprehensive treatise on experimental techniques*. New York: Wiley-Interscience, 921p.
- Prasad, M. (1976) Response of sugarcane to filter press mud and N, P and K fertilizers. I. Effect on sugarcane yield and sucrose content. *Agronomic Journal*, 68:534-543.
- Premusic, Z., Bargiela, M., Garcia, A., Rendina, A., Lorio, A. (1998) Calcium, iron, potassium, phosphorus and vitamin C content of organic and hydroponic tomatoes. *HortScience*, 33:255-257.
- Raij, B. van. (1969) A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral de solos. *Bragantia*, 28:85-112.

- Raij, B. van. (1991) *Fertilidade do solo e adubação*. São Paulo: Editora Ceres, 343p.
- Raij, B. van., Peech, M. (1972) Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. *Soil Science of America Proceedings*, 36: 587-593.
- Rasul, G., Appuhn, A., Muller, T., Joergensen, R. G. (2006) Salinity-induced changes in the microbial use of sugarcane filter cake added to soil. *Applied Soil Ecology*, 31:1-10.
- Reddy, K. R., Khaleel, R., Overcash, M. R. (1981) Behavior and transport of microbial pathogens and indicator organisms in soils treated with organic wastes. *Journal of environmental quality*, 10:133-141.
- Reeves, D. W. (1997) The list of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research*, 43:161-167.
- Reisenauer, H. M., Walsh, L. M., Hoelt, R. G. (1973) Testing soils for sulphur, boron, molybdenum and chlorine. In: Walsh, L. M., Beaton, J. D. (eds.) *Soil testing and plant analysis*. Madison: Soil Science of America, p.173-200.
- Ribeiro, A. C., Gurgel, M. N. A., Thiébault, J. T. L., Bittencourt, V. C. (1979) Torta de filtro rotativo como fertilizante, em misturas com apatita-de-Araxá, superfosfato simples e vinhaça. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 3:178-181.
- Ricci, M. S. F., Casali, V. W. D., Cardoso, A. M., Ruiz, H. A. (1995) Teores de nutrientes em duas cultivares de alface adubadas com composto orgânico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 30:1035-1039.
- Rice, J. A., MacCarthy, P. (1991) Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances. *Organic Geochemistry*, 17:635-648.
- Riffaldi, R., Schnitzer, M. (1972) Electron spin resonance spectrometry of humic substances. *Soil Science Society American Journal*, 36:301-305.
- Rivero, C., Chirenje, T., Ma, L. Q., Martinez, Z. (2004) Influence of composto on soil organic matter under tropical conditions. *Geoderma*, 123:355-361.
- Robinson, C. A., Cruse, R. M., Ghaffarzadeh, M. (1996) Cropping system and nitrogen effects on Mollisol organic carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 60:264-269.
- Romero, E., Plaza, C., Senesi, N., Nogales, R., Polo, A. (2007) Humic acid-like fractions in raw and vermicomposted winery and distillery wastes. *Geoderma*, 139:397-406.
- Rosa, A. H., Simoes, M. L., Oliveira, L. C., Rocha, J. C., Martin-Neto, L., Milori, D. M. B. P. (2005) Multimethod study of the degree of humification of humic substances extracted from different tropical soil profiles in Brazil's Amazonian region. *Geoderma*, 127:1-10.

- Roth, C., Vieira, M. J. (1983) Infiltração da água no solo. *Plantio direto*, 1:1-4.
- Saab, S. C., Martin-Neto, L., (2007) Anéis aromáticos condensados e relação E₄/E₆ de ácidos húmicos de gleissolos por RMN de ¹³C no estado sólido utilizando a técnica CP/MAS desacoplamento defasado. *Química nova*, 30:260-263.
- Samuels, G., Landrau Jr., P. (1957) Filter-press cake as a fertilizer. *Sugar Journal*, 19:18-19.
- Satchell, J. E., Martein, K. (1984). Phosphate activity in earthworm faeces. *Soil Biology and Biochemistry*, 16:191-194.
- Schnitzer, M., Gupta, U. C., (1965) Determination of acidity in soil organic matter. *Soil Science of America Proceedings*, 29:274-277.
- Senesi, N. (1989) Composted materials as organic fertilizers. *The Science of the Total Environment*, 81/82, 521–542.
- Senesi, N. (1990) Molecular and quantitative aspects of the chemistry of fulvic acids and its interactions with metals ions and organic chemicals. Part I. the electron spin resonance approach. *Analytica Chimica Acta*, 232:51-75.
- Silva, C. D., Costa, L. M., Matos, A. T., Cecon, P. R., Silva, D. D. (2002) Vermicompostagem de lodo de esgoto urbano e bagaço de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6:487-491.
- Silva, M. L. N., Curi, N., Marques, J. J. G. S. M., Guilherme, L. R. G., Lima, J. M. (1996) Ponto de efeito salino nulo e suas relações com propriedades mineralógicas e químicas de Latossolos brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 31:663-671.
- Singer, L. S. (1959) Synthetic ruby as a secondary standard for the measurement of intensities in electron paramagnetic resonance. *Journal of Applied Physics*, 30:1463–1464.
- Siqueira, C., Leal, J. R., Velloso, A. C. X., Santos, G. A. (1990) Eletroquímica solos tropicais de carga variável: Quantificação do efeito da matéria orgânica sobre o ponto de carga zero. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 14:13-17.
- Siqueira, J. O., Moreira, F. M. S. (2001) *Biologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA/FAEPE, 291p.
- Skoog, D. A. (2002) *Princípios de análise instrumental*. Porto Alegre: Bookman, 836p.
- Slepetine, A., Sleptetys, J. (2005) Status of humus in soil under various long term tillage systems. *Geoderma*, 122:207-215.
- Smil, V. (2000) *Enriching the Earth*. Massachusetts: MIT Press, 358p.

- Soumare, M., Tack, F., Verloo, M. (2003) Characterisation of Malian and Belgian solid waste compost with respect to fertility and suitability for land application. *Waste management*, 23:517-522.
- Spaccini, R., Piccolo, A., Conte, P., Haberhauer, G., Gerzabek, M. H. (2002) Increased soil organic carbon sequestration through hydrophobic protection by humic substances. *Soil Biology and Biochemistry*, 34:1839–1851.
- Spaccini, R., Mbagwu, J., S. C., Contem P., Piccolo, A. (2005) Changes of humic substances characteristics from forested to cultivated soils in Ethiopia. *Geoderma*, 132:9-19.
- Sposito, G. (1989) *The chemistry of soils*. New York: Claredon Press, 262p.
- Sposito, G. (1992) Characterization of particles change. *In*: Buffle, J., van Leeuwen, H. (eds) *Environmental particles*. Boca Raton: IUPAC Publications in environmental and analytical chemistry, p.291:314.
- Stevenson, F. J. (1994) *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. New York: John Wiley and Sons, 496p.
- Surapaneni, A., Palmer, A. S., Tillman, R. W., Hirkman, J. H., Greeg, E. H. (2002) The mineralogy and potassium supplying power of some loessial and related soils of New Zealand. *Geoderma*, 110:191- 204.
- Suszec, M., Sampaio, S. C., Suszec, F. L., Mallmann, L. S., Silvestro, M. G. (2007) Aspectos físicos e químicos de vermicompostos produzidos a partir de esterco bovino e composto de resíduos verdes urbanos. *Engenharia na agricultura*, 15:39-44.
- Szczech, M. M. (1999) Suppressiveness of vermicompost against fusarium wilt of tomato. *Journal of Phytopatology*, 147:155-161.
- Tognetti, C., Mazzarino, M. J., Laos, F. (2007) Improving the quality of municipal organic waste compost. *Bioresource Technology*, 98:1067-1076.
- USBC – UNITED STATES CENSUS BUREAU (2008). Obtido no site <http://www.census.gov.ipc> em fevereiro de 2008.
- Van Olphen, E. (1963) *Introduction to clay colloid chemistry*. New York: Interscience, 301p.
- Varadachari, C., Mondal, A. H., Nayak, D. C., Ghosh, K. (1995) Clayhumus complexation: effect of pH and the nature of bonding. *Soil Biology and Biochemistry*, 26:1145-1149.
- Veiga, C. F. M., Vieira, J. R., Morgado, I. F. (2006). *Diagnóstico da cadeia produtiva da cana-de-açúcar do Estado do Rio de Janeiro: relatório de pesquisa*. Rio de Janeiro: FAERJ:SEBRAE, 107p.

- Velloso, A. C. X., Canellas, L. P., Baldotto, M. A. (2007) *Mineralogia e química de superfície*. Apostila de lecionação do curso Mineralogia e Química de Superfície. Campos dos Goytacazes: UENF, 122p.
- Vinceslas-Akpa, M., Loquet, M. (1997) Organic matter transformations in lignocellulosic waste products composted or vermicomposted (*Eisenia foetida* Andrei): chemical analysis and ^{13}C CPMAS NMR spectroscopy. *Soil Biology and Biochemistry*, 29:751-758.
- Weber, O. L. S., Chitolina, J. C., Camargo, O. A., Alleoni, L. R. F. (2005) Cargas elétricas estruturais e variáveis de solos tropicais altamente intemperizados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:867-873.
- Yagi, R., Ferreira, M. E., Cruz, M. C. P., Barbosa, J. C. (2003) Organic matter fractions and soil fertility under the influence of liming, vermicompost and cattle manure. *Scientia Agrícola*, 60:549-557.
- Zalazar, L., Salvo, A. (2007) Entomofauna asociada a cultivos hortícolas orgánicos y convencionales en Córdoba, Argentina. *Neotropical Entomology*, 36:765-773.
- Zandonadi, D. B., Canellas, L. P., Façanha, A. R. (2007) Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H^+ pumps activation. *Planta*, 225:1583-1595.
- Zhang, M., Heaney, D., Henriquez, B., Solberg, E. (2006) A Fourier study on influence of biosolids/MSW cocomposto application in less productive soils in Alberta: nutrients dynamics. *Compost Science and Utilization*, 14:68-80.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela 1A – Quadro da análise de variância.

FV	GL	Quadrados médios							
		pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	P	S-SO ₄	C total	CTC
contrastes									
L vs C	1	0,02	89351**	30422**	1,58	702,12**	5264**	680,74**	384952**
V vs TF	1	0,04	2819**	3483**	15,55**	541357**	12470**	31,28**	100,75**
V vs TF/L	1	0,02	1560**	760,03**	17,71**	295665**	4687,50**	24,48**	10,03**
V vs TF/C	1	0,18	1266**	3124**	1,88	246794**	8003,33**	8,75**	301,47**
Regressão por dose									
L/V/T ₀	3	0,01	24,88**	98,13**	4,14**	1366,44**	40,02**	9,15**	240,80**
L/TF/T ₀	3	0,03	515,45**	0,22	0,95	33238**	3537**	13,01**	466,26**
C/V/T ₀	3	0,00	32,68**	206,08**	3,25*	1686,67**	54,45**	25,54**	424,43**
C/TF/T ₀	3	0,00	686,01**	46,82**	0,58	47077**	3920**	23,91**	417,70**
L/V/T ₁	3	0,14	58,94**	19,34**	2,81*	520,20**	8,89**	23,98**	155,50**
L/TF/T ₁	3	0,12	263,30**	0,92	0,10	49186**	138,69**	8,28**	117,01**
C/V/T ₁	3	0,01	99,61**	27,85**	0,32	372,67**	22,05**	11,55**	157,36**
C/TF/T ₁	3	0,00	398,43**	32,77**	0,1620	19635**	897,80**	5,168**	417,09**
L/V/T ₂	3	0,09	22,83**	36,27**	0,0016	350,01**	5,34**	17,11**	66,50**
L/TF/T ₂	3	0,10	162,45**	1,25	0,1560	32000**	369,80**	7,20**	55,67**
C/V/T ₂	3	0,02	3,93*	42,53**	0,3294	186,05**	0,05	16,62**	39,95**
C/TF/T ₂	3	0,06	130,39**	4,67**	0,1333	15680**	325,36**	7,24**	20,27**
L/V/T ₃	3	0,24	16,26**	12,48**	1,1361	233,47**	0,02	12,85**	50,77**
L/TF/T ₃	3	0,24	164,36**	2,84*	0,162	5611**	140,45**	5,13**	122,68**
C/V/T ₃	3	0,89	88,90**	118,58**	0,2961	138,69**	1,80	18,50**	662,40**
C/TF/T ₃	3	0,00	161,50**	2,07	0,2067	12169**	99,76**	9,94**	148,69**
L/V/T ₄	3	0,11	0,01	12,32**	0,1561	271,34**	0,27	8,84**	31,84**
L/TF/T ₄	3	0,15	127,85**	2,03	0,011	27084**	16,20**	4,51**	26,60**
C/V/T ₄	3	0,09	44,61**	53,03**	0,1125	194,27**	0,05	20,74**	282,25**
C/TF/T ₄	3	0,04	157,55**	0,12	0,0347	30186**	7,20**	9,34**	39,20**
Regressão por tempo									
L/V(0)	4	0,10	2,03	6,70**	0,1107	2,52*	14,10**	3,67**	123,39**
L/TF(0)	4	0,10	2,03	6,70**	0,1107	334,66**	14,10**	3,67**	123,39**
C/V(0)	4	0,02	115,17**	232,13**	0,0843	12,90**	85,07**	11,61**	14225**
C/TF(0)	4	0,02	115,17**	232,13**	0,0843	12,90**	85,07**	11,61**	14225**
L/V(40)	4	0,25	1,53	6,21**	1,157	289,57**	48,23**	4,97**	137,90**
L/TF(40)	4	0,21	9,35**	7,92**	0,3317	2672**	566,10**	3,53**	238,60**
C/V(40)	4	0,07	164,44**	196,63**	0,5727	338,40**	140,77**	30,62**	1011**
C/TF(40)	4	0,08	208,94**	50,28**	0,0566	5351**	1183**	13,21**	1105**
L/V(80)	4	0,23	30,54**	162,32**	2,2777*	655,42**	110,60**	8,98**	609,62**
L/TF(80)	4	0,22	30,27**	14,31**	0,5556	2544**	1865,83**	7,88**	396,53**
C/V(80)	4	0,12	208,73**	109,02**	0,5027	430,83**	153,57**	12,52**	880,69**
C/TF(80)	4	0,17	277,85**	120,30**	0,1009	4015**	3222**	20,49**	3143**
L/V(120)	4	0,24	8,93**	179,76**	10,3133**	2690**	190,57**	14,31**	792,64**
L/TF(120)	4	0,27	93,11**	17,09**	1,1059	13142**	2838,56**	7,35**	643,14**
C/V(120)	4	0,19	133,42**	544,35**	2,4406*	1149**	326,27**	17,96**	1746**
C/TF(120)	4	0,09	637,75**	54,49**	0,2873	13962**	4081**	20,76**	2356**
Resíduo	160	0,17	1384,54	561,29	1,9432	19122	1191,95	29,03	5851
CV (%)		1,30	10,09	22,74	11,60	32,67	39,30	5,34	11,33

L = Latossolo; C = Cambissolo; V = Vermicomposto; TF = Torta de filtro; T₀ = Instalação do experimento; T₁ = Após 90 dias; T₂ = Após 180 dias; T₃ = Após 360 dias; T₄ = Após 720 dias. (0), (40), (80) e (120) referem-se à dose de adubo orgânico aplicada, em Mg ha⁻¹. * e ** significativos a 1 e 5% pelo teste de F, respectivamente.

Tabela 2A – Significância dos coeficientes de regressão em função da dose de adubo orgânico aplicada.

FV	FV (%)							
	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	P	S-SO ₄	C total	CTC
por dose								
L/V/T ₀	2,8	0,1	2,4	0,8	0,7	0,2	0,1	1,6
L/TF/T ₀	0,3	0,1	4,2	0,1	0,9	0,4	0,1	0,1
C/V/T ₀	X ² 4,7	7,4	18,1	1,7	0,8	4,3	3,5	12,8
	X 5,6							
C/TF/T ₀	X ² 33,7	0,6	8,0	0,1	1,2	0,2	0,6	0,1
	X 31,2							
L/V/T ₁	0,2	4,7	3,3	0,1	0,0	27,3	0,2	0,4
L/TF/T ₁	0,9	0,8	11,3	1,1	0,3	12,7	0,9	0,3
C/V/T ₁	X ² 40,1	11,2	21,9	0,8	1,2	3,0	1,9	17,9
	X 45,5							
C/TF/T ₁	X ² 7,0	0,1	24,1	0,0	0,6	11,6	1,3	24,4
	X 6,5							
L/V/T ₂	0,8	0,5	0,4	0,7	0,9	6,3	0,4	0,3
L/TF/T ₂	0,6	0,3	11,5	0,3	0,3	1,1	1,0	1,7
C/V/T ₂	0,2	34,1	7,5	0,7	1,1	37,0	0,5	17,7
	0,1							
C/TF/T ₂	4,3	2,6	29,8	2,8	0,0	0,9	1,8	1,2
L/V/T ₃	0,9	4,7	1,5	3,3	0,2	42,9	0,9	0,7
L/TF/T ₃	3,3	0,3	2,9	1,3	6,5	1,6	0,0	1,4
C/V/T ₃	0,3	0,5	3,3	0,2	0,2	2,6	0,2	6,2
C/TF/T ₃	X ² 6,0	3,8	29,5	3,5	0,3	6,6	0,3	11,3
	X 6,2							
L/V/T ₄	2,9	3,1	0,3	2,7	0,3	14,1	0,2	5,0
L/TF/T ₄	1,0	0,2	0,0	0,5	0,4	0,3	2,6	1,8
C/V/T ₄	2,6	1,2	13,7	6,3	3,7	11,3	1,5	8,2
C/TF/T ₄	X ² 29,6	2,2	45,6	10,0	1,0	14,0	5,3	19,4
	x 23,1							

L = Latossolo; C = Cambissolo; V = Vermicomposto; TF = Torta de filtro; T₀ = Instalação do experimento; T₁ = Após 90 dias; T₂ = Após 180 dias; T₃ = Após 360 dias; T₄ = Após 720 dias. (0), (40), (80) e (120) referem-se à dose de adubo orgânico aplicada, em Mg ha⁻¹.

Tabela 3A – Significância dos coeficientes de regressão em função da época de amostragem.

FV		(%)							
por tempo		pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	P	S-SO ₄	C total	CTC
L/V(0)	X ³				19,5				
	X ²	20,4	2,4	6,5	34,6	3,6	6,0	5,9	1,9
	X	42,3	3,0	13,2	4,0	5,5	24,4	12,3	4,1
L/TF(0)	X ³				19,5				
	X ²	20,4	2,4	6,5	34,6	3,6	6,0	5,9	1,9
	X	42,3	3,0	13,2	4,0	5,5	24,4	12,3	4,1
C/V(0)	X ³				3,4				
	X ²	2,3	0,2	1,6	3,6	10,5	1,6	5,1	1,7
	X	4,9	0,4	2,4	4,1	15,1	4,4	11,4	3,1
C/TF(0)	X ³				3,4				
	X ²	2,3	0,2	1,6	3,6	10,5	1,6	5,1	1,7
	X	4,9	0,4	2,4	4,1	15,1	4,4	11,4	3,1
L/V(40)	X ³				4,3				
	X ²	3,2	0,1	9,4	7,5	5,3	6,5	20,7	5,6
	X	10,6	0,1	26,8	9,2	7,6	12,1	22,3	12,9
L/TF(40)	X ³				9,8				
	X ²	0,4	21,9	6,6	15,0	20,5	4,7	34,7	6,1
	X	1,1	37,7	15,7	17,2	29,6	7,7	35,4	14,6
C/V(40)	X ³				3,4				
	X ²	3,6	1,6	6,0	4,2	9,1	1,3	2,9	8,1
	X	6,6	4,6	8,0	4,7	11,9	3,2	6,7	15,4
C/TF(40)	X ³				8,8				
	X ²	1,8	3,9	7,6	10,3	2,5	1,3	0,0	2,2
	X	3,4	7,1	8,9	11,5	3,3	2,5	0,1	3,7
L/V(80)	X ³				3,9				
	X ²	4,1	20,0	11,3	5,1	6,6	1,9	37,5	3,1
	X	9,9	28,7	15,4	5,4	8,9	4,8	5,7	6,1
L/TF(80)	X ³				4,9				
	X ²	1,3	4,9	1,0	6,6	2,2	5,5	26,7	2,2
	X	2,8	9,7	1,9	7,1	5,4	9,4	30,9	4,7
C/V(80)	X ³				7,1				
	X ²	2,5	21,3	24,9	8,6	8,2	0,3	4,5	21,4
	X	4,1	33,1	24,9	9,4	12,3	0,7	16,5	26,7
C/TF(80)	X ³				6,9				
	X ²	7,2	0,3	0,4	6,9	0,7	3,4	2,7	16,2
	X	28,9	0,7	0,4	7,1	1,0	6,4	8,8	22,6
L/V(120)	X ³				3,9				
	X ²	2,6	2,1	7,3	5,7	7,1	6,3	3,8	3,4
	X	5,3	3,6	10,9	6,7	9,7	9,7	46,9	5,7
L/TF(120)	X ³				9,4				
	X ²	1,0	7,3	2,2	12,2	13,9	13,1	5,1	8,6
	X	2,5	11,9	4,3	13,3	16,4	18,8	37,0	15,7
C/V(120)	X ³				8,4				
	X ²	2,6	1,2	6,5	10,4	5,3	0,6	2,4	9,2
	X	6,1	21,7	9,4	11,6	7,1	1,3	4,1	14,1
C/TF(120)	X ³				2,9				
	X ²	8,4	2,8	1,9	3,4	3,5	5,1	3,9	2,4
	X	24,9	4,6	2,7	3,7	3,6	8,9	6,2	4,2

APÊNDICE B

Tabela 1B - Características químicas de um Latossolo Amarelo Eutrófico típico após aplicação de vermicomposto.

	C	pH	P	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ⁺²	K ⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC	V	m
	g dm ⁻³	H ₂ O	..... mg dm ⁻³ .....	.....mmol _c /dm ⁻³									
%.....												
Instalação													
0	15,9	5,2	4,7	7,3	17,3	14,8	1,6	1,3	33,3	34,3	67,6	50,7	4
40	18,1	5,2	30,7	12,0	17,2	17,4	3,0	1,3	32,5	38,3	70,9	54,3	3
80	20,6	5,3	50,0	16,0	20,8	32,4	4,0	1,3	32,5	58,6	91,1	64,3	2
120	22,9	5,4	93,7	22,3	24,8	35,4	6,5	1,4	32,2	68,7	100,9	67,7	2
90 dias*													
0	16,0	5,3	4,7	6,3	14,5	14,4	1,5	1,6	33,4	30,9	64,3	48,0	5
40	17,9	5,5	14,0	5,7	16,8	15,7	2,3	0	32,5	35,6	68,1	52,3	0
80	19,9	5,7	23,5	14,0	24,5	16,5	2,9	0	31,0	44,7	75,6	59,0	0
120	22,7	5,8	34,7	8,0	23,4	20,7	3,8	0	31,4	49,0	80,4	61,0	0
180 dias													
0	15,9	5,4	2,7	4,7	15,0	12,3	1,3	1,4	28,3	29,2	57,4	50,3	4
40	18,1	5,6	8,7	5,7	16,6	15,6	2,0	0	25,4	34,7	60,1	58,0	0
80	20,1	5,7	15,3	8,0	18,6	17,4	2,6	0	25,6	39,3	64,9	60,7	0
120	21,4	5,9	28,3	7,3	21,5	20,7	3,0	0	22,2	45,8	68,0	67,0	0
360 dias													
0	15,8	5,4	2,7	4,3	15,3	12,3	1,2	1,3	25,4	29,3	54,8	53,3	4,3
40	16,8	5,6	7,0	3,3	16,1	15,0	1,2	0	26,1	33,4	59,5	56,0	0
80	19,3	5,9	16,0	4,7	16,8	16,0	2,6	0	25,2	36,2	61,4	59,0	0
120	20,3	6,1	22,7	3,7	21,0	17,2	2,5	0	23,2	41,6	64,8	64,0	0
720 dias													
0	13,4	5,4	2,7	1,7	14,7	11,3	1,1	0	24,7	27,7	52,4	52,7	0
40	15,1	6,0	7,7	1,3	15,4	13,4	1,3	0	23,6	30,6	54,2	56,3	0
80	16,2	6,1	16,3	1,7	17,0	14,6	1,6	0	20,7	33,8	54,6	62,3	0
120	17,5	6,2	24,3	2,3	20,9	16,2	1,6	0	21,4	39,3	60,7	65,0	0

Dias após a incubação do vermicomposto; Valores referentes à média de três repetições.

Tabela 2B - Características químicas de um Latossolo Amarelo Eutrófico típico após aplicação de torta de filtro.

		C	pH	P	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ⁺²	K ⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC	V	M
		g dm ⁻³	H ₂ O	..... mg dm ⁻³ .....	.....	.....	.....	.....	.....mmol/dm ⁻³ .....	.....	.....	.....	.....%	.....
Instalação														
0	Mg ha ⁻¹	15,9	5,2	4,7	7,3	17,3	14,8	1,6	1,3	33,3	34,3	67,6	50,7	4
40		17,6	5,3	121,7	36,7	24,5	15,1	2,0	1,3	33,4	42,3	75,7	55,7	3
80		19,1	5,4	238,0	68,7	33,6	15,5	2,4	1,4	33,3	52,2	85,5	61,0	2,7
120		20,7	5,5	353,0	85,3	44,0	15,4	2,9	1,3	32,9	63,3	96,5	65,7	2,3
90 dias*														
0	Mg ha ⁻¹	16,0	5,3	4,7	6,3	14,5	14,4	1,5	1,6	33,4	30,9	64,3	48,0	5
40		17,9	5,5	91,7	15,7	24,5	12,9	1,6	0	31,4	39,7	71,0	55,7	0
80		19,1	5,7	177,3	28,3	32,0	12,9	1,8	0	30,5	47,3	77,8	60,7	0
120		19,9	5,8	222,3	19,7	36,2	12,9	1,9	0	30,3	51,5	81,9	62,7	0
180 dias														
0	Mg ha ⁻¹	15,9	5,4	2,7	4,7	15,0	12,3	1,3	1,4	28,3	29,2	57,4	50,3	4
40		16,6	5,6	69,0	9,0	21,6	13,1	1,5	0	24,7	36,6	61,3	60,0	0
80		17,7	5,8	175,0	23,0	27,9	11,9	1,7	0	24,3	41,9	66,3	63,3	0
120		19,5	5,9	234,0	28,7	31,9	11,1	1,8	0	21,6	45,3	66,9	67,7	0
360 dias														
0	Mg ha ⁻¹	15,8	5,4	2,7	4,3	15,3	12,3	1,2	1,3	25,4	29,3	54,8	53,3	4,3
40		17,0	5,9	65,7	5,7	22,7	11,9	1,4	0	24,5	36,6	61,1	60,0	0
80		17,9	6,0	145,0	12,7	27,8	10,4	1,7	0	22,2	40,4	62,7	64,3	0
120		18,9	6,1	174,0	19,7	32,7	10,3	1,7	0	25,4	45,4	70,8	64,3	0
720 dias														
0	Mg ha ⁻¹	13,4	5,4	2,7	1,7	14,7	11,3	1,1	0	24,7	27,7	52,4	52,7	0
40		15,1	6,0	54,0	2,0	20,5	10,7	1,1	0	20,3	32,9	53,2	62,0	0
80		15,1	6,1	132,0	4,0	26,0	10,1	1,2	0	19,4	38,0	57,3	66,0	0
120		16,6	6,2	222,0	7,0	29,7	9,4	1,2	0	17,8	41,0	58,7	69,7	0

Dias após a incubação do vermicomposto; Valores referentes à média de três repetições.

Tabela 3B - Características químicas de um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico após aplicação de vermicomposto.

		C	pH	P	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ⁺²	K ⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC	V	m
		g dm ⁻³	H ₂ O	..... mg dm ⁻³ .....	.....	.....	.....	.....	mmol/dm ⁻³ .....	.....	.....	.....	.....%	.....
Instalação														
0	Mg ha ⁻¹	20,5	5,5	12,0	20,7	58,7	46,8	1,5	1,2	51,6	109,5	161,1	67,7	0,7
40		24,4	5,5	35,3	24,0	65,8	55,8	2,6	0,4	49,4	127,2	176,6	72,0	0,3
80		24,0	5,5	44,0	24,0	64,4	43,2	2,8	0	51,1	113,4	163,6	69,3	0
120		28,2	5,6	70,3	31,7	67,7	72,4	4,1	0	48,8	147,4	196,2	75,0	0
90 dias*														
0	Mg ha ⁻¹	20,5	5,6	10,0	15,3	54,9	43,8	1,3	0	51,3	102,9	154,2	66,7	0
40		23,3	5,6	15,3	16,7	62,4	39,6	1,7	0	48,2	105,6	153,8	68,3	0
80		24,0	5,6	22,7	17,7	72,6	52,4	1,9	0	48,4	129,3	177,7	72,7	0
120		25,4	5,7	36,3	22,0	66,3	47,4	2,1	0	46,5	118,4	164,9	71,7	0
180 dias														
0	Mg ha ⁻¹	18,1	5,6	7,0	13,7	51,3	34,0	1,3	0	40,9	88,2	129,1	68,0	0
40		19,7	5,6	9,3	14,3	59,6	39,6	1,5	0	39,1	102,2	141,3	72,0	0
80		22,2	5,7	18,3	13,3	57,6	37,0	1,9	0	36,7	98,4	135,1	72,7	0
120		23,3	5,8	24,3	14,3	54,9	44,5	2,0	0	37,3	103,3	140,6	73,3	0
360 dias														
0	Mg ha ⁻¹	17,1	5,7	7,3	10,0	45,4	25,7	1,5	0	39,2	73,8	113,0	65,3	0
40		18,5	5,9	10,7	9,3	51,1	35,5	1,8	0	41,6	101,2	142,8	70,3	0
80		20,9	6,0	16,3	8,3	55,0	39,0	2	0	35,9	110,2	146,1	75,0	0
120		22,7	6,1	22,7	8,3	58,1	41,0	2,2	0	35,7	114,5	150,2	75,7	0
720 dias														
0	Mg ha ⁻¹	16,2	5,7	7,3	6,7	44,1	31,3	1,7	0	38,5	78,5	117,0	67,3	0
40		16,9	5,8	11,3	6,3	48,5	37,8	1,8	0	38,2	89,1	127,4	70,0	0
80		19,3	5,9	13,7	6,3	51,6	45,4	1,8	0	34,5	109,3	143,8	75,7	0
120		22,2	6,1	27,3	6,3	53,0	39,7	2,2	0	34,2	102,3	136,5	74,7	0

Dias após a incubação do vermicomposto; Valores referentes à média de três repetições.

Tabela 4B - Características químicas de um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico após aplicação de torta de filtro.

		C	pH	P	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ⁺²	K ⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC	V	m
		g dm ⁻³	H ₂ O	..... mg dm ⁻³ .....	.....	.....	.....	.....	.....mmol _c /dm ⁻³ .....	.....	.....	.....	.....%	.....
Instalação														
0	Mg ha ⁻¹	20,5	5,5	12,0	20,7	58,7	46,8	1,5	1,2	51,6	109,5	161,1	67,7	0,7
40		23,3	5,4	130,7	55,3	74,8	37,8	1,8	1,3	53,8	117,0	170,9	68,3	1
80		24,5	5,5	187,0	77,3	81,0	38,4	2,1	1,2	54,3	124,1	178,5	69,3	1
120		27,4	5,5	324,3	106,7	95,7	36,4	2,5	1,3	51,8	137,2	189,1	72,7	1
90 dias*														
0	Mg ha ⁻¹	20,5	5,6	10,0	15,3	54,9	43,8	1,3	0	51,3	102,9	154,2	66,7	0
40		22,0	5,5	81,0	36,0	65,4	28,6	1,5	0	53,9	97,5	151,4	64,3	0
80		23,1	5,5	158,7	69,0	72,8	33,6	1,7	0	52,2	111,6	201,6	72,7	0
120		23,6	5,5	193,0	49,0	82,2	33,6	1,9	0	49,2	118,7	167,9	70,3	0
180 dias														
0	Mg ha ⁻¹	18,1	5,6	7,0	13,7	51,3	34,0	1,3	0	40,9	88,2	129,1	68,0	0
40		20,3	5,6	56,3	19,3	59,2	29,0	1,5	0	41,3	91,2	132,4	68,7	0
80		21,0	5,6	115,0	26,0	65,7	26,8	1,7	0	37,7	95,6	133,3	72,0	0
120		21,9	5,7	180,0	38,5	66,3	31,5	1,8	0	34,9	101,0	135,9	74,5	0
360 dias														
0	Mg ha ⁻¹	17,1	5,7	7,3	10,0	45,4	25,7	1,5	0	39,2	73,8	113,0	65,3	0
40		18,9	5,8	42,0	11,0	58,1	27,7	1,6	0	39,2	88,6	127,8	69,0	0
80		20,1	5,8	95,3	12,7	59,4	22,8	2,0	0	38,7	95,4	134,1	70,7	0
120		21,4	5,7	154,0	24,3	63,9	25,2	2,0	0	36,7	92,3	129,0	71,3	0
720 dias														
0	Mg ha ⁻¹	16,2	5,7	7,3	6,7	44,1	31,3	1,7	0	38,5	78,5	117,0	67,3	0
40		18,3	5,8	72,0	7,3	54,8	30,0	1,6	0	38,1	87,8	125,9	69,7	0
80		17,8	6,0	124,0	6,3	57,9	34,7	1,8	0	35,9	95,4	131,3	72,7	0
120		21,0	5,9	248,7	11,0	61,8	29,4	1,9	0	33,9	90,6	124,5	72,7	0

Dias após a incubação do vermicomposto; Valores referentes à média de três repetições.

APÊNDICE C

Tabela 1C - Fracionamento químico da matéria orgânica humificada num Latossolo Amarelo Eutrófico típico após aplicação de vermicomposto.				
	C ácidos húmicos	C ácidos fúlvicos	C huminas	Relação C _{AH} /C _{AF}
	..... g kg ⁻¹			
Instalação				
0	0,42	1,19	4,57	0,35
40	0,87	1,72	3,80	0,51
80	1,00	1,59	5,19	0,63
120	0,85	1,32	5,32	0,64
90 dias*				
0	0,55	1,30	4,17	0,42
40	1,03	1,09	4,46	0,94
80	1,25	1,32	6,25	0,95
120	1,41	1,17	6,45	1,21
180 dias				
0	0,68	0,98	4,57	0,69
40	0,81	0,66	7,64	1,23
80	1,37	0,72	7,38	1,90
120	1,36	0,94	7,47	1,45
360 dias				
0	0,34	1,45	5,70	0,23
40	1,11	1,31	6,66	0,85
80	1,52	1,87	8,24	0,81
120	1,58	1,73	8,73	0,91
720 dias				
0	0,38	2,09	4,86	0,18
40	0,51	1,54	4,93	0,33
80	0,52	2,09	6,12	0,25
120	1,20	2,12	7,52	0,57

*Dias após a incubação do vermicomposto. Valores referentes à média de três repetições.

Tabela 2C - Fracionamento químico da matéria orgânica humificada num Latossolo Amarelo Eutrófico típico após aplicação de torta de filtro.				
	C ácidos húmicos	C ácidos fúlvicos	C huminas	Relação C_{AH}/C_{AF}
	..... g kg ⁻¹			
Instalação				
0	0,42	1,19	4,57	0,35
40	0,43	1,58	3,63	0,27
80	0,57	1,32	3,93	0,43
120	0,61	1,19	3,54	0,51
90 dias*				
0	0,55	1,30	4,17	0,42
40	1,57	1,08	4,27	1,45
80	1,41	1,17	5,18	1,20
120	1,44	1,26	5,18	1,14
180 dias				
0	0,68	0,98	4,57	0,69
40	1,23	0,80	6,22	1,54
80	0,94	1,08	5,77	0,87
120	0,95	1,12	5,74	0,85
360 dias				
0	0,34	1,45	5,70	0,23
40	0,98	1,17	6,03	0,84
80	0,99	1,03	6,68	0,96
120	1,10	1,31	7,15	0,84
720 dias				
0	0,38	2,09	4,86	0,18
40	0,36	2,23	4,52	0,16
80	0,40	1,49	5,07	0,27
120	1,08	2,09	4,06	0,52

*Dias após a incubação da torta de filtro. Valores referentes à média de três repetições.

Tabela 3C - Fracionamento químico da matéria orgânica humificada num Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico após aplicação de vermicomposto.

		C ácidos húmicos	C ácidos fúlvicos	C huminas	Relação C _{AH} /C _{AF}
		..... g kg ⁻¹			
Instalação					
0		1,38	0,93	5,50	1,48
40	Mg ha ⁻¹	1,58	0,81	4,95	1,97
80		1,25	1,58	5,50	0,79
120		1,27	1,58	7,73	0,80
90 dias*					
0		1,48	0,55	5,89	2,70
40	Mg ha ⁻¹	1,41	0,87	7,35	1,62
80		1,33	1,17	7,07	1,14
120		1,19	1,51	8,87	0,79
180 dias					
0		1,08	0,66	10,04	1,63
40	Mg ha ⁻¹	0,81	0,80	13,35	1,00
80		0,82	0,94	13,27	0,87
120		0,80	1,37	14,51	0,58
360 dias					
0		0,69	2,15	9,80	0,32
40	Mg ha ⁻¹	0,72	2,15	11,80	0,33
80		0,83	2,19	9,53	0,38
120		1,03	2,28	13,10	0,45
720 dias					
0		0,87	1,54	5,45	0,56
40	Mg ha ⁻¹	0,66	3,01	5,82	0,22
80		0,91	3,07	7,92	0,30
120		0,95	3,77	7,97	0,25

*Dias após a incubação do vermicomposto. Valores referentes à média de três repetições.

Tabela 4C - Fracionamento químico da matéria orgânica humificada num Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico após aplicação de torta de filtro.				
	C ácidos húmicos	C ácidos fúlvicos	C huminas	Relação C _{AH} /C _{AF}
	..... g kg ⁻¹			
Instalação				
0	1,38	0,93	5,10	1,48
40	1,03	2,12	6,24	0,49
80	0,33	2,12	6,68	0,16
120	0,17	2,15	8,52	0,08
90 dias*				
0	1,48	0,55	5,89	2,70
40	1,25	0,68	7,60	1,84
80	1,41	1,16	7,44	1,22
120	1,37	1,36	8,60	1,00
180 dias				
0	1,08	0,66	6,04	1,63
40	1,50	0,70	12,93	2,14
80	1,78	0,80	14,11	2,23
120	1,80	1,37	13,54	1,31
360 dias				
0	0,69	2,15	9,80	0,32
40	0,96	2,56	11,21	0,38
80	0,83	1,87	9,19	0,44
120	1,22	1,45	10,65	0,84
720 dias				
0	0,87	1,54	5,45	0,56
40	0,22	3,35	8,23	0,07
80	0,22	3,77	9,01	0,06
120	0,33	3,69	9,59	0,09

*Dias após a incubação da torta de filtro. Valores referentes à média de três repetições.

Tabela 5C - Teores de C e N, relação C/N, intensidade de fluorescência e relação E₄/E₆ de ácidos húmicos extraídos de um Latossolo Amarelo Eutrófico típico após aplicação de vermicomposto.

	C	N	C/N	Intensidade de Fluorescência	Relação E ₄ /E ₆
	.....% .....			u.a.	
Instalação					
0	52,10	4,10	12,86	31,54	5,1
40	53,54	3,98	13,46	29,51	5,5
80	71,02	6,35	11,19	27,60	6,0
120	60,74	4,36	13,94	26,86	6,2
90 dias*					
0	32,06	2,65	12,11	27,24	5,0
40	44,29	3,55	12,46	28,78	5,2
80	38,27	3,00	12,76	33,82	5,4
120	52,86	3,60	14,67	31,99	5,4
180 dias					
0	24,69	2,06	11,98	31,73	4,8
40	21,66	1,85	11,68	25,80	3,4
80	17,99	1,64	10,97	27,15	3,3
120	19,73	1,73	11,44	32,03	3,9
360 dias					
0	50,25	3,86	13,02	27,27	4,1
40	48,09	3,95	12,18	33,45	4,2
80	46,32	3,69	12,55	20,97	4,4
120				20,89	4,9
720 dias					
0	40,18	3,01	13,33	23,27	4,8
40	51,72	3,92	13,21	11,27	3,8
80	44,15	4,11	10,75	13,78	4,0
120	54,38	3,91	13,90	10,56	3,9

*Dias após a incubação do vermicomposto.

Tabela 6C - Teores de C e N, relação C/N, intensidade de fluorescência e relação E₄/E₆ em ácidos húmicos extraídos de um Latossolo Amarelo Eutrófico típico após aplicação de torta de filtro.

	C	N	C/N	Intensidade de Fluorescência	Relação E ₄ /E ₆
	.....% .....			u.a.	
Instalação					
0	52,76	4,10	12,86	31,54	5,1
40	52,45	4,34	12,09	30,78	5,2
80	54,27	4,49	12,10	25,50	5,8
120	50,48	4,31	11,71	25,78	5,8
90 dias*					
0	32,06	2,65	12,11	27,24	5,0
40	42,16	3,60	11,70	34,20	4,8
80	40,88	3,58	11,43	33,33	5,2
120	51,50	4,39	11,73	29,23	6,3
180 dias					
0	24,69	2,06	11,98	31,73	4,8
40	24,65	2,10	11,72	28,95	3,8
80	40,07	3,37	11,89	31,34	4,0
120	46,83	3,99	11,73	29,98	4,5
360 dias					
0	50,25	3,86	13,02	27,27	4,1
40	52,18	4,42	11,81	30,23	4,6
80	48,17	3,95	12,19	28,89	4,8
120	42,80	3,53	12,13	19,09	4,7
720 dias					
0	40,18	3,01	13,33	23,27	4,8
40	51,28	4,27	12,01	10,63	4,8
80	50,46	4,20	12,02	12,22	4,4
120	32,20	2,77	11,60	13,00	4,6

*Dias após a incubação da torta de filtro.

Tabela 7C - Teores de C e N, relação C/N, intensidade de fluorescência e relação E_4/E_6 em ácidos húmicos extraídos de um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico após aplicação de vermicomposto.

	C	N	C/N	Intensidade de Fluorescência	Relação E_4/E_6
	.....% .....			u.a.	
Instalação					
0	41,09	2,64	15,59	66,23	4,0
40	56,87	4,17	13,63	53,21	4,6
80	55,34	4,04	13,69	48,14	4,7
120	61,30	4,03	15,22	45,54	4,9
90 dias*					
0	53,40	3,62	14,73	60,34	4,8
40	45,97	3,18	14,45	38,92	4,9
80	54,10	3,62	14,95	23,93	5,4
120	55,98	4,02	13,92	29,53	5,0
180 dias					
0	45,67	3,08	14,08	54,78	3,7
40	36,78	2,52	14,61	16,39	3,8
80	39,67	2,68	14,82	22,76	3,7
120	36,98	2,60	14,21	22,97	3,5
360 dias					
0	41,51	2,80	14,82	59,90	3,7
40	45,06	3,02	14,95	10,08	3,7
80	48,85	3,34	14,64	16,60	3,7
120	47,36	3,24	14,60	24,11	3,9
720 dias					
0	57,28	3,63	15,78	52,95	3,9
40	51,68	3,64	14,22	8,61	4,1
80	44,58	2,98	14,96	12,52	4,1
120	51,64	3,45	14,95	11,60	3,6

*Dias após a incubação do vermicomposto.

Tabela 8C - Teores de C e N, relação C/N, intensidade de fluorescência e relação E₄/E₆ em ácidos húmicos extraídos de um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico vértico após aplicação de torta de filtro.

	C	N	C/N	Intensidade de Fluorescência	Relação E ₄ /E ₆
	.....% .....			u.a.	
Instalação					
0	41,09	2,64	15,59	66,23	4,0
40	56,54	3,79	14,92	50,62	4,7
80	51,28	4,01	12,78	52,18	5,7
120	41,27	2,99	13,81	37,50	6,2
90 dias*					
0	53,40	3,62	14,73	60,34	4,8
40	46,11	3,26	14,13	40,84	4,2
80	52,99	3,67	14,45	47,40	5,7
120	52,12	3,90	13,37	17,57	4,9
180 dias					
0	45,67	3,08	14,08	54,78	3,7
40	43,42	3,10	14,00	23,20	4,0
80	36,55	2,69	13,59	32,73	3,5
120	39,87	2,81	14,21	17,90	4,0
360 dias					
0	41,51	2,80	14,82	59,90	3,7
40	46,79	3,26	14,33	10,39	3,8
80				32,09	3,6
120	49,74	3,65	13,65	28,15	4,5
720 dias					
0	57,28	3,63	15,78	52,95	3,9
40	37,68	2,54	14,83	10,00	3,6
80	49,06	3,69	13,29	13,38	3,2
120	53,02	3,83	13,83	11,37	3,3

*Dias após a incubação de torta de filtro.