

MÁRCIO FLÉQUISSON ALVES MIRANDA

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS APÓS INCUBAÇÃO COM
ÁCIDOS HÚMICOS E ESTEÁRICO EM NEOSSOLOS FLÚVICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2009**

MÁRCIO FLÉQUISSON ALVES MIRANDA

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS APÓS INCUBAÇÃO COM
ÁCIDOS HÚMICOS E ESTEÁRICO EM NEOSSOLOS FLÚVICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 30 de março de 2009

Prof. Eduardo de Sá Mendonça
(Coorientador)

Prof. Genelício Crusoé Rocha

Prof^a. Ana Maria Souza dos Santos
Moreau

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho

Prof. Hugo Alberto Ruiz
(Presidente)

Dedico:

Aos meus pais, Reguinier Martins de Miranda e Nanete Alves Miranda, pelo amor e pelo incentivo durante todos esses anos.

Aos meus queridos irmãos, Cristina, Safira e Marcelo pelo carinho e incentivo.

Ao Prof. Raphael Bragança Alves Fernandes, que me orientou durante o mestrado, contribuindo enormemente para a realização deste trabalho.

A Prof^ª. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, que muito tem contribuído pela minha formação profissional e pelo apoio, incentivo, confiança e amizade.

Ofereço:

A minha querida Giselle, pelo seu amor e carinho que tem me proporcionado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado força, estímulo e paciência para vencer as dificuldades enfrentadas durante a realização do curso.

A Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de solos pela oportunidade de realização do curso.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco pelos ensinamentos e onde tudo começou.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador, Prof. Raphael Bragança Alves Fernandes pela orientação, amizade e pelo exemplo de dedicação e profissionalismo.

Ao Prof. Hugo Alberto Ruiz pela co-orientação e pelo valioso auxílio nas análises estatísticas.

Ao Prof. Eduardo de Sá Mendonça e a Prof^a Maria Betânia Galvão dos Santos Freire pela co-orientação e pelas dicas e disposição em contribuir sempre.

Aos professores Genélcio Crusoé Rocha e Elpídio Inácio Fernandes Filho e a professora Ana Maria Souza dos Santos Moreau pela participação na defesa desta dissertação e pelas críticas e sugestões para melhoria deste trabalho.

Aos professores do Departamento de solos, pela participação em minha formação.

A todos os funcionários do Departamento de solos que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial aos Laboratoristas Cláudio Brustolini, Benedito, Fábio, José Braz, Alisson, Carlos Fonseca e a Luciana pela sua competência.

Aos amigos que fiz durante minha estadia na cidade de Viçosa: Diogo, Clério, Henrique, Cícero, Márcio, Tiago, Everton, Diana, Ivanilda, Fernanda, Carolina, Madriano, Flavia, Clébio, Luiza, Ivan, Gislane, Pacheco, Luiz Francisco, Alexandre, Igor, Arlicélio, Hugo Junior. A todos os colegas do Futebol.

A todos os colegas da Pós-Graduação da UFV pelos momentos compartilhados.

Aos amigos da república, Victor Peçanha, Bruno Toríbio, Leonardo Sanguinetti, Patrícia, Joseane.

Aos meus parentes que mesmo sem imaginar, influenciaram neste trabalho.

Aos amigos, Rosival, Jeime, Luiz Guilherme, Patrícia, Lucielio, Jailson, Leandro, Ramiro.

A todos que de forma direta, ou não, tornaram este trabalho possível.

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| 1. RESUMO | v |
| 2. ABSTRACT | vii |
| 3. INTRODUÇÃO | 1 |
| 4. REVISÃO DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. Estrutura e estabilidade de agregados do solo..... | 4 |
| 2.2 Solos afetados por sais..... | 6 |
| 2.3. Matéria orgânica em solos salinos..... | 7 |
| 2.4. Natureza dos compostos orgânicos..... | 8 |
| 5. MATERIAL E MÉTODOS..... | 10 |
| 3.1. Descrição da origem das amostras de solo..... | 10 |
| 3.2. Amostragem do solo..... | 10 |
| 3.3. Compostos orgânicos utilizados..... | 10 |
| 3.4. Tratamentos e delineamento experimental..... | 11 |
| 3.4.1. Experimento I : Efeito do tempo de incubação..... | 13 |
| 3.4.2. Experimento II: Efeito de doses..... | 13 |
| 3.5. Metodologias analíticas utilizadas..... | 16 |
| 3.5.1. Caracterização dos solos..... | 16 |
| 3.5.2. Avaliação dos experimentos I e II..... | 17 |
| 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 20 |
| 4.1. Experimento I - efeito do tempo de incubação..... | 20 |
| 4.1.1. Características físicas..... | 20 |
| 4.1.2. Características do extrato solo:água..... | 29 |
| 4.1.3. Características químicas..... | 34 |
| 4.1.4. Grau de repelência à água..... | 39 |
| 4.2. Experimento II - efeito das doses dos compostos orgânicos..... | 40 |
| 4.2.1. Características físicas..... | 40 |
| 4.2.2. Características do extrato solo:água..... | 49 |
| 4.2.3. Características químicas..... | 54 |
| 4.2.4. Grau de repelência à água..... | 59 |
| 7. CONCLUSÕES..... | 60 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 62 |
| 9. APÊNDICE..... | 66 |

RESUMO

MIRANDA, Márcio Fléquisson Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Março de 2009. **Atributos físicos e químicos após incubação com ácidos húmicos e esteárico em Neossolos Flúvicos.** Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes. Co-orientadores: Hugo Alberto Ruiz, Eduardo de Sá Mendonça, Maria Betânia Galvão dos Santos Freire.

O presente trabalho objetivou avaliar o efeito da adição de compostos orgânicos de hidrofobicidade variável na qualidade física e química de solos do Nordeste brasileiro, principalmente no que se refere à distribuição e estabilidade de agregados e à composição química do solo e do extrato solo-água 1:5. Para isto, dois experimentos foram conduzidos com amostras coletadas de dois Neossolos Flúvicos (RY1 = solo normal, RY2 = solo salino-sódico) nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, no perímetro irrigado Cachoeira II, localizado em Serra Talhada (PE). No primeiro, avaliou-se a resposta dos solos ao incremento do tempo de incubação (40, 80 e 150 dias), após à aplicação de ácido húmico e ácido esteárico em dose única de $5,0 \text{ g kg}^{-1}$. No segundo experimento, avaliou-se a resposta dos solos após a adição de doses crescentes (0; 2,5; 5,0; 7,5 e $10,0 \text{ g kg}^{-1}$) dos compostos orgânicos, após um período de incubação de 150 dias. Todos os ensaios foram conduzidos para as amostras das duas profundidades e com três repetições. Foram avaliados o diâmetro médio ponderado e geométrico, após separação dos agregados por via seca e por via úmida, argila dispersa em água, equivalentes de umidade, cátions (Ca, Mg, Na e K) no solo e no extrato solo:água (1:5), além da condutividade elétrica (CE), pH e RAS no extrato e PST no solo. No primeiro experimento, os resultados indicaram efeito positivo do aumento do período de incubação sobre a gênese e incremento do diâmetro médio dos agregados. Na comparação entre compostos orgânicos, os efeitos foram mais expressivos com o ácido esteárico. Na comparação entre solos, os mesmos efeitos foram mais pronunciados no solo salino-sódico. O aumento do tempo de incubação favoreceu um pequeno incremento na dispersão de argilas, o que foi relacionado ao incremento de cargas negativas proporcionado pela matéria orgânica adicionada. Os resultados do extrato solo:água foram influenciados pela presença de sais no ácido húmico utilizado, que promoveu o incremento da condutividade elétrica e de alguns cátions solúveis, em especial o Na. Não se verificaram diferenças entre os tempos de incubação avaliados sobre as características químicas dos solos. O incremento das doses dos compostos orgânicos também favoreceu positivamente a formação e o diâmetro médio dos

agregados, principalmente na camada de 0 a 20 cm de profundidade. O ácido esteárico mais uma vez foi mais efetivo sob esse aspecto. O incremento das doses de ácido húmico afetou algumas das variáveis químicas mensuradas no solo RY1, estando mais relacionado à presença prévia de sais no material orgânico. A adição de ácido esteárico teve pouca influência sobre as características químicas avaliadas nos dois solos. Os resultados indicaram que a aplicação do ácido esteárico (mais hidrofóbico) favorece a agregação de solos, com potencial que merece ser avaliado em condições de campo para solos afetados por sais; que o efeito da adição de compostos orgânicos foi mais pronunciado sobre as características físicas do que sobre as características químicas dos solos e do extrato; e que mais uma vez se destaca o importante papel da matéria orgânica na garantia da qualidade física estrutural dos solos, com potencial ainda pouco explorado no que se refere aos seus efeitos em solos afetados por sais.

ABSTRACT

MIRANDA, Márcio Fléquisson Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March of 2009. **Physical and chemicals attributes after incubation with humic acid and stearic acid in Fluvic Neossoils.** Advisor: Raphael Bragança Alves Fernandes. Co-advisors: Hugo Alberto Ruiz, Eduardo de Sá Mendonça, Maria Betânia Galvão dos Santos Freire.

This study aimed to evaluate the effect of addition of compounds of varying hydrophobicity on physical and chemical quality of soils of the Brazilian Northeast, particularly as regards distribution and aggregate stability and chemical composition and soil-water extract 1:5. For this, two experiments were conducted on samples collected from two Neossoils Fluvic (RY1 = normal soil, RY2 = saline-sodic soil) at depths of 0 to 20 cm and 20 to 40 cm in irrigated waterfall II, located in Serra Talhada (PE). At first, we evaluated the response of soils to increase the incubation time (40, 80 e 150 days) after the application of humic acid and stearic acid in a single dose of 5,0 g Kg⁻¹. The second experiment evaluated the response of soil after the addition of increasing doses (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 g Kg⁻¹) of organic compounds, after an incubation period of 150 days. All tests were conducted for samples from two depths and three repetitions. We evaluated the average diameter and geometric weighted, after separation of aggregates by dry and wet, clay dispersed in water, equivalent moisture, cations (Ca, Mg, Na and K) in soil and extract soil-water (1:5), in addition to electrical conductivity (EC), pH and RAS in the extract and PST on the soil. In the first experiment, the results indicated positive effect of increasing the incubation period of the genesis and growth of the average diameter of the aggregates. In the comparison between organic compounds, the effects were more significant with the stearic acid. Comparing soil, the same effects were more pronounced in saline-sodic soil. The increase of incubation time favored a small increase in dispersion of clay, which was related to the increase of negative charges provided by the organic matter added. The results of the extract soil:water were influenced by the presence of salts in the humic acid used, which promoted the increase of electrical conductivity and some soluble cations, especially Na. There were no differences between incubation times evaluated on the chemical characteristics of soils. The increasing levels of organic compounds also favored the formation positively and the average diameter of aggregates, mainly in the 0 to 20 cm depth. The stearic acid was again more effective in this aspect. The increasing levels of humic acid affect some of the chemical variables measured in the

soil RY1, being more closely related to the prior salts in organic material. The addition of stearic acid had little influence on the chemical found in two soils. The results indicated that the application of stearic acid (more hydrophobic) promotes soil aggregation, with the potential that deserves to be evaluated under field conditions for salt affected soils; the effect of adding organic compounds was more pronounced on the physical characteristics than on the chemical characteristics of soil and extract; and that once again highlights the important role of organic matter in ensuring the quality of the soil physical structure, with the potential still unexplored in terms of their effects on soils affected by salts.

1. Introdução

A degradação das propriedades físicas do solo tem sido considerada um dos principais processos responsáveis pela perda de sua qualidade estrutural e aumento da erosão hídrica. Algumas práticas de manejo e das culturas provocam alterações nas propriedades do solo, principalmente na sua estrutura, podendo tais alterações ser temporárias ou mesmo permanentes. Tais alterações podem se manifestar de várias maneiras, influenciando o desenvolvimento das plantas e o rendimento das culturas. Assim, não é raro que o solo submetido ao cultivo intensivo tenda a deteriorar sua estrutura original, a partir do fracionamento dos agregados em unidades menores, com conseqüente redução no volume de macroporos e aumento no volume de microporos e na densidade do solo (Bertol et al , 2001).

Do ponto de vista agrícola, a estrutura do solo é um dos atributos mais importantes, pois está relacionada com a disponibilidade de ar e água às raízes das plantas, com o suprimento de nutrientes, com a resistência mecânica do solo à penetração e com o desenvolvimento do sistema radicular. A manutenção de um bom estado de agregação e estabilidade e, conseqüentemente, de uma boa estrutura, é condição primordial para garantir altas produtividades agrícolas (Corrêa, 2002).

A estabilidade dos agregados do solo pode ser resultado da ação de união mecânica por células e hifas dos organismos, dos efeitos cimentantes dos produtos derivados da síntese microbiana ou da ação estabilizadora dos produtos de decomposição, que agem individualmente ou em combinação. A agregação do solo pode sofrer alterações permanentes ou temporárias, demonstrando variação cíclica provocada por práticas de manejo de solo e culturas (Wohlenberg et al., 2004).

A influência da matéria orgânica na agregação do solo é um processo dinâmico, sendo necessário o acréscimo contínuo de material orgânico para manter a estrutura adequada ao desenvolvimento das plantas. Sistemas de manejo de solo e de cultura adequadamente conduzidos proporcionam o aporte e manutenção de material orgânico, associados a uma ação benéfica das raízes das plantas e à proteção oferecida à superfície do solo (Wohlenberg et al., 2004).

Mas o termo matéria orgânica do solo engloba uma infinidade de compostos com características não homogêneas e até mesmo contrastantes. Este é o caso, por exemplo, da natureza hidrofóbica e hidrofílica dos compostos orgânicos, o que ressalta a importância de estudos mais direcionados à qualidade do que à quantidade desse

importante componente nos solos tropicais. A dinâmica da relação hidrofobicidade/hidrofilicidade pode alterar o grau de repelência do solo à água, o que apresenta relação direta e indireta com a dinâmica da umidade no solo. Essa mesma relação também pode conferir alterações na estabilidade da matéria orgânica do solo, aumentando ou reduzindo sua susceptibilidade à decomposição microbiana. Em ambos os casos a relação com a estrutura do solo se faz presente e poucos estudos tem sido dedicados a tal tema. Por sua vez, alguns trabalhos têm focado o caráter hidrofóbico de materiais orgânicos como possível redutor da desagregação. Neste caso a fração orgânica pode reduzir a absorção de água por um agregado, tornando-o menos propenso a desestruturação (Bastos et al., 2005).

É fato notório que a matéria orgânica do solo desempenha papel fundamental para a qualidade física e química dos solos tropicais. Em ambientes mais vulneráveis dos trópicos, como o semi-árido brasileiro, essa importância é ainda maior, muito embora nem sempre acompanhada da devida valorização por parte dos técnicos e agricultores. No Nordeste do Brasil, problemas de salinidade e sodicidade vêm se intensificando nos últimos anos. Isto tem refletido na redução das produtividades dos cultivos e, muitas vezes, no abandono de áreas outrora produtivas. Segundo Pereira (1983), o Nordeste brasileiro possui, aproximadamente, 9,1 milhões de hectares de solos afetados por sais.

Em áreas intensamente cultivadas sob irrigação, como nos perímetros irrigados e nos pólos produtivos da região nordeste, a salinização dos solos não está relacionada apenas à qualidade da água de irrigação, depende também das características físico-químicas do solo em seu estado natural e das técnicas de manejo a ele aplicadas. É comum o incremento da salinidade em áreas irrigadas, cujas técnicas de manejo não visam a aplicação suficiente de água e conservação da capacidade produtiva dos solos, bem como um eficiente sistema de drenagem e em locais onde há uso excessivo de fertilizantes (Silva Filho et al., 2000).

A salinidade e a sodicidade resultam do acúmulo de sais solúveis e sódio trocáveis, prejudicando e limitando o desenvolvimento dos cultivos. Estes fatores ocorrem principalmente em regiões áridas e semi-áridas devido a processos naturais, como a evapotranspiração maior que a pluviosidade; ou antrópicos, como irrigação mal conduzida e sem drenagem eficiente para a lixiviação do excesso de sais. Quando a baixa precipitação pluviométrica não é suficiente para lavar os sais acumulados no solo e as condições de relevo dificultam a drenagem - em especial nas partes mais baixas da

paisagem, a ascensão de sais solúveis no perfil é verificada, sendo os mesmos concentrados na superfície do solo.

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivos avaliar os atributos físicos e químicos após incubação com ácido húmico e ácido esteárico em Neossolos Flúvicos do Nordeste brasileiro, principalmente na distribuição e estabilidade de agregados e na composição química do extrato solo:água 1:5. Especificamente, pretendeu-se avaliar o efeito da adição de doses crescentes de compostos orgânicos e tempos diferentes de incubação sobre essas características.

2. Revisão de literatura

2.1- Estrutura e estabilidade de agregados do solo

A estrutura se destaca dentre as propriedades físico-mecânicas do solo, sendo entendida como a organização das partículas primárias presentes em unidades estruturais compostas, ou agregados. A estabilidade dos agregados se dá pela aproximação e cimentação das partículas do solo mediante atuação de diversas substâncias de natureza mineral e orgânica, e por meio de mecanismos físicos, químicos e biológicos (Silva et al., 2006).

A intensidade dos mecanismos de formação e estabilização dos agregados influencia a resistência das unidades estruturais frente às forças desagregantes, que podem ser advindas da abrasão por implementos agrícolas, do impacto das gotas de chuva, bem como do cisalhamento pelo fluxo de água e, ou, pela entrada de água nos agregados (Kemper e Chepil, 1965). Esses fatores são, em grande parte, alterados pelos sistemas de manejo adotados, não só pelo efeito direto do revolvimento mecânico ocasionado durante o preparo do solo - que favorece sua degradação, mas também e principalmente, pela ação da erosão hídrica e por modificações no ambiente edáfico, em decorrência da influência dos sistemas de culturas (Lima et al., 2003).

Na formação e estabilização dos agregados do solo estão envolvidos diversos processos físicos, químicos e biológicos. Hillel (1980) ressalta que, para a formação de agregados estáveis, é necessário que os colóides do solo se encontrem floculados, e que todos os componentes do agregado sejam posteriormente estabilizados por algum agente cimentante.

Os agregados são, portanto, os principais componentes da estrutura do solo, sendo considerados como de suma importância para a manutenção da porosidade e aeração, no crescimento de plantas e da população microbiana, na infiltração de água e no controle dos processos erosivos (Oades, 1984; Dexter, 1988).

Diversos são os fatores que interferem na agregação do solo, dentre eles destacam-se o tipo e teor de argila, e a presença ou ausência de cátions polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos de ferro, alumínio e manganês, exudatos orgânicos de plantas, substâncias orgânicas provenientes da ação de microrganismos e outros compostos orgânicos. A matéria orgânica e os óxidos são considerados agentes cimentantes, tanto de partículas primárias quanto de partículas secundárias do solo (Tisdall e Oades, 1982).

Le Bissonais (1996) enumera três fatores primordiais que determinam a estabilidade de agregados nos solos: i) porcentagem de sódio trocável; ii) presença de óxido de ferro e alumínio com função cimentante, principalmente para o caso dos solos tropicais; e iii) teor de matéria orgânica, a qual pode agir como ligação entre partículas minerais, protegendo a superfície do solo contra o impacto direto da gota de chuva, incrementando a infiltração de água e conferindo, às vezes, hidrofobicidade aos agregados.

A teoria da “hierarquização dos agregados”, proposta por Tisdall e Oades (1982), é a mais aceita para explicar a gênese dos agregados do solo. Esses autores propõem uma classificação dos agregados conforme seu diâmetro, definindo cinco faixas (< 0,2 µm; de 0,02 a 2 µm; de 2 a 20 µm; de 20 a 250 µm e > 2000 µm). Aqueles menores que 250 µm foram denominados microagregados e, os maiores, macroagregados. Os autores afirmam que cada agregado é formado pela união dos agregados da classe anterior (em tamanho), seguindo, assim, uma ordem hierárquica. Em função dos tamanhos de cada classe, sua união e estabilidade será determinada por diferentes agentes de agregação.

Enquanto os macroagregados são mais sensíveis ao manejo do solo a curto prazo (Degens, 1997), os agregados menores que 250 µm (microagregados) são geralmente mais estáveis, dada à ação aditiva de materiais cimentantes orgânicos e minerais persistentes (Tisdall e Oades, 1982). A divisão dos agregados em classes de tamanho está baseada em propriedades tais como ligantes e relação carbono/nitrogênio (C/N) no solo (Bronick & Lal, 2005). O teor de matéria orgânica determina a sua maior ou menor proporção nos complexos com minerais, a qual afeta positivamente a estabilidade dos complexos. Solos com teores elevados de óxidos de ferro e de alumínio, minerais que apresentam grupos –OH, altamente reativos com matéria orgânica, apresentam complexos organo-minerais de alta estabilidade, como sugerido pela estabilidade de microagregados, os quais têm os complexos organominerais como estrutura básica (Inda Junior et al, 2007).

A matéria orgânica pode também aumentar a estabilidade de agregados retardando a absorção de água nos espaços intra-agregados. A distribuição aleatória de frações hidrofóbicas da matéria orgânica do solo retarda a entrada de água nos agregados minimizando os efeitos do molhamento brusco (Guedes, 2002). A ação dos componentes hidrofóbicos (considerados como as substâncias húmicas cujos grupos funcionais hidrofílicos estariam voltados para o interior das moléculas) ocorre porque

estes compostos, ao invés de livres na solução do solo, se encontram fortemente adsorvidos à fração mineral do solo. Desta forma, espera-se que o efeito estabilizador destes compostos deva ser de mais longa duração do que composto de natureza mais hidrofílica, como os carboidratos, que são mais facilmente biodegradáveis e podem encontrar-se livres na solução do solo (Piccolo e Mbagwu, 1999).

2.2 - Solos afetados por sais

Solos de regiões áridas e semi-áridas podem apresentar acúmulo de sais que podem alcançar níveis prejudiciais ao desenvolvimento das plantas. Tais processos podem ter origem natural ou antrópicas, pelo manejo inadequado da irrigação e drenagem. O crescimento vegetal é prejudicado tanto pelos efeitos diretos do potencial osmótico da solução do solo e dos íons potencialmente tóxicos presentes em elevadas concentrações, quanto pela degradação de algumas propriedades físicas dos mesmos, o que leva à redução da infiltração da água no perfil.

A produção mundial de alimentos dobrou nas últimas três décadas, uma tendência que foi acompanhada pelo incremento na área irrigada, que praticamente dobrou no mesmo período (Tilman, 1999). Esse crescimento da irrigação, entretanto, nem sempre foi acompanhado com os devidos cuidados e consideração sobre a aptidão das terras à essa técnica, bem como da qualidade da água utilizada. Nas regiões Norte, Sul, Centro-Oeste e quase todo o Sudeste do Brasil, os solos são pouco sujeitos a salinização e sodicidade, mesmo que tenham deficiência de drenagem subterrânea. Nessas áreas, a precipitação mais abundante lava os sais que poderiam se acumular durante a irrigação. Por outro lado, o mesmo não acontece no Nordeste e em parte do norte de Minas Gerais, consideradas como regiões climáticas propícias ao acúmulo de sais nos solos quando irrigados.

Outro fator a ser considerado no favorecimento dos problemas de salinização em determinadas regiões brasileiras é o fato da água utilizada para a irrigação ser, muitas vezes, proveniente de poços e, ou, açudes, cujas águas apresentam qualidade variável no tempo e espaço. Na época de estiagem, os açudes e poços apresentam elevada concentração de sais, coincidindo com a maior demanda da cultura, dada as mais elevadas temperaturas e taxas de evapotranspiração (Silva Júnior et al., 1999).

Além do efeito sobre as culturas agrícolas, a salinização também pode acarretar a degradação da estrutura dos solos. Quando se verifica a predominância de Na no complexo de troca, em relação aos demais cátions, aumentam-se a possibilidade de

haver dispersão e migração dos colóides no perfil do solo, com obstrução de poros e redução da movimentação de ar e água, dificultando assim o crescimento dos vegetais (Freire et al., 2003).

Os efeitos nocivos da salinidade são: (a) toxicidade causada por elevada concentração de elementos químicos no solo como Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} e Cl^- ; (b) diminuição do potencial osmótico da água no solo, o que diminui a absorção de água pelas culturas e; (c) perda da estrutura do solo, quando ocorre incremento nos valores de percentagem de Na trocável (PST) acima de 15 %.

Os solos afetados por sais são divididos em: salinos; sódicos e salino-sódicos. Os primeiros apresentam valores de condutividade elétrica (CE) superiores a $4,0 \text{ mS cm}^{-1}$, pH inferior a 8,5 e PST inferior a 15%. Os solos sódicos apresentam PST superior a 15%, valores de pH superiores a 8,5 e CE inferior a $4,0 \text{ mS cm}^{-1}$. Nos solos salino-sódicos, os valores de CE ultrapassam o limite de $4,0 \text{ mS cm}^{-1}$, a PST supera 15% e o pH é geralmente próximo a 8,5 (Richards, 1954). Todos esses solos contêm sais solúveis suficientes para interferir no crescimento adequado da maioria das plantas, contendo também quantidades prejudiciais de Na trocável, que também degrada as propriedades físicas dos mesmos. Entretanto, estes limites que definem essa classificação têm sido motivo de estudos, buscando sua revisão e atualização. No Brasil, embora pesquisas recentes tenham demonstrado que esses limites são variáveis dependendo do tipo de solo (Freire et al., 2003), eles ainda são utilizados.

2.3 – Matéria orgânica em solos salinos

Em geral, a matéria orgânica atua como agente ligante entre os componentes dos solos, interferindo, de maneira positiva, em suas propriedades físicas, aumentando a condutividade hidráulica e a infiltração de água. Esse efeito também é esperado em solos afetados por sais (Freire e Freire, 2007).

De fato, os efeitos da matéria orgânica em solos salinos e sódicos podem ser considerados positivos, ao promover maior agregação das partículas do solo, com diminuição da dispersão promovida pelo sódio. Contudo, um possível efeito negativo deve ser considerado, quando sua adição promove o incremento da dispersão das argilas. Isto pode ser atribuído à maior afinidade dos compostos orgânicos pelo Ca, o que provocaria uma distribuição desuniforme de Ca e Na ligados às partículas orgânicas e minerais do solo. Como a maior proporção de Ca estaria retida nos colóides orgânicos,

a fração inorgânica ficaria então mais saturada por Na, incrementando assim a dispersão (Naidu et al., 1995).

A salinidade e a sodicidade também interferem na composição orgânica dos solos, já que o Na em solução reduz o estado de agregação entre partículas minerais e orgânicas, além dos próprios efeitos químicos e físicos dos sais sobre os compostos orgânicos. Indiretamente, o pH geralmente mais elevado também influi nestas alterações. Naidu et al. (1995) citam que o aumento da sodicidade chega a mobilizar acima de 40% da matéria orgânica dos solos, seja como colóide orgânico ou como complexo argila-matéria orgânica.

O uso de materiais orgânicos em suas diversas formas (esterco, adubação verde, palha de arroz) objetivando a recuperação de áreas com problemas de sódio trocável, também tem sido uma prática de relativa eficiência (Silva, 1978). Alguns trabalhos (Rossiello et al., 1981; Ruiz et al., 1997; Silveira, 1999) sugerem a aplicação do efluente orgânico vinhaça, um subproduto do processamento da cana-de-açúcar, como um corretivo promissor para a correção de solos com predominância de Na trocável.

Em solos com complexo de troca dominado pelo Na trocável, além de condicionadores ou melhoradores químicos, a exemplo do gesso agrícola, também é recomendada a incorporação de materiais orgânicos, tais como: esterco de curral, adubo verde, composto de lixo urbano e resíduo de destilarias para a melhoria da permeabilidade desses solos (Silva, 1978). Com esse objetivo, Holanda et al. (1998) verificaram efeito benéfico do esterco bovino na redução do Na trocável de um solo salino-sódico, principalmente quando associado à subsolagem e à gessagem.

2.4 – Natureza dos compostos orgânicos

Além da função cimentante, a matéria orgânica do solo apresenta potencial de retardar a entrada de água nos agregados, aumentando sua resistência quando umedecidos. Desta forma, a aplicação de materiais orgânicos com características hidrofóbicas e hidrofílicas podem apresentar papel importante na estabilização e formação de macroagregados dos solos com intemperismo avançado (Bastos et al., 2005).

As substâncias húmicas são constituídas de uma série de compostos de elevado peso molecular e que são separadas com base em características de solubilidade. Elas são classificadas em: humina – fração insolúvel em meio alcalino; ácidos húmicos – fração escura extraída geralmente em meio alcalino (NaOH e $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) e insolúvel em

meio ácido diluído; ácidos fúlvicos – fração colorida alcalino-solúvel que se mantém em solução após a remoção dos ácidos húmicos por acidificação. Os ácidos húmicos possuem conteúdo maior de C e menor de O, e, conseqüentemente, uma massa maior quando comparada à dos ácidos fúlvicos (Guerra et al, 2008).

As substâncias húmicas podem ser divididas ainda conforme sua afinidade com água. Assim, elas podem ser hidrofílicas ou hidrofóbicas. As primeiras são constituídas principalmente por carboidratos neutros ou ácidos, de origem microbiana ou derivados de plantas; e as segundas, são formadas por cadeias carbônicas longas, alifáticas e ricas em polifenóis, oriundos principalmente da oxidação da lignina e da celulose (Kaiser e Zech, 2000).

O tratamento do solo com matérias orgânicos contendo quantidades substanciais de compostos hidrofóbicos pode favorecer a estabilidade de agregados do solo, mais do que compostos com predominância de materiais hidrofílicos. Sullivan (1990), verificou que a distribuição não uniforme da matéria orgânica hidrofóbica retarda a entrada de água nos agregados, aumentando assim sua resistência deles quando expostos à água. Haynes e Swift (1990) verificaram que agregados secos oriundos de pastagem (alto conteúdo de C orgânico de caráter hidrofóbico) eram mais estáveis em água do que os agregados de solos arados.

3. Material e Métodos

3.1 - Descrição da origem das amostras de solo

O estudo foi realizado nas dependências do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa-MG, com solos provenientes do Perímetro Irrigado Cachoeira II, localizado no município de Serra Talhada (PE), na meso-região Sertão do Alto Pajeú. O clima local é semi-árido, com temperatura média anual de 27°C e precipitação pluviométrica anual de 720 mm. A sede do município de Serra Talhada está localizada nas coordenadas geográficas 07° 59' 31" de latitude Sul e 38° 17' 54" de longitude Oeste, a uma altitude de 429 metros. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima semi-árido do sertão pernambucano pode ser considerado como do tipo BShw, ou seja um clima seco de estepes de baixas latitudes (BSh) e com chuvas de verão retardadas para o outono (w) (DNOCS, 1999). A área atualmente utilizada com irrigação no referido perímetro é de cerca de 230 ha.

3.2 – Amostragem do solo

Os solos selecionados para avaliação no presente estudo foram dois Neossolos Flúvicos, frequentemente utilizados, principalmente, para as culturas irrigadas de cebola, pimentão, tomate, feijão, milho e banana. Amostras dos solos foram coletados em duas áreas distintas dentro do perímetro, uma no lote 3D e outra no lote 4D. O primeiro solo não apresenta problema associado ao excesso de sais, e o segundo apresenta problemas decorrentes da salinização (redução da produtividade e presença de sais em superfície).

Coletou-se amostras de solos nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade. Uma vez coletadas, as amostras foram previamente secas ao ar e passadas em peneira de 2mm de malha, onde obteve a terra fina seca ao ar (TFSA), que foi utilizada na execução dos ensaios. Uma porção da TFSA de cada solo foi homogeneizada e realizada a caracterização química e física (Quadros 1 e 2).

3.3 - Compostos orgânicos utilizados

Para a realização dos ensaios foram utilizados dois produtos orgânicos de diferentes características quanto à hidrofobicidade. O composto orgânico de caráter hidrofóbico selecionado foi o ácido esteárico (ácido octadecanóico – $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$) puro (AE), de origem vegetal, comercializado pela empresa Vetec.

Já o composto orgânico com caráter intermediário de hidrofobicidade foi um ácido húmico (AH), obtido a partir de um vermicomposto de esterco bovino, com alto teor de matéria orgânica, extraído e purificado segundo a técnica recomendada pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas – IHSS (Swift, 1996).

3.4 – Tratamentos e delineamento experimental

Dois experimentos foram conduzidos para se avaliar os efeitos dos diferentes compostos orgânicos na formação e estabilização dos agregados e em algumas outras características físicas e químicas dos solos e da solução do solo, conforme expresso pelo extrato solo-água.

Em cada um dos experimentos, 200,00 g de TFSA foram dispostos em sacos plásticos de 1 L de capacidade, seguido da adição dos compostos orgânicos, adicionados na forma de pó ao solo seco. Uma vez efetuada a homogeneização da mistura, os sacos receberam água deionizada necessária para alcançar 80% da capacidade de campo. Os experimentos foram conduzidos em uma incubadora a ± 27 °C. Durante os experimentos os sacos plásticos permaneceram abertos para não limitar as trocas gasosas.

Quadro 1 - Caracterização química dos solos e do extrato da pasta saturada dos Neossolos utilizados no presente estudo: solo normal (RY1) e solo salino-sódico (RY2)

| Solo | Camada | pH | | Extrato da pasta saturada | | | | | | | | | Cátions Trocáveis | | | | | PST | COT |
|------|---------|--------------------|---------|-----------------------------------|------|------|-------|------|-------|-------|------------------|-----------------|------------------------------------|------|------|------|------|-------|------|
| | | H ₂ O | Extrato | CE | Ca | Mg | Na | K | RAS | Cl | HCO ₃ | CO ₃ | Ca | Mg | Na | K | CTC | | |
| | | dS m ⁻¹ | | mmol _c L ⁻¹ | | | | | | | | | cmol _c dm ⁻³ | | | | | | |
| RY1 | 0-20cm | 7,4 | 8,0 | 1,47 | 0,16 | 0,28 | 0,22 | 0,06 | 0,67 | 0,60 | 0,01 | 0,00 | 5,54 | 3,30 | 0,29 | 0,48 | 9,73 | 2,98 | 0,75 |
| | 20-40cm | 7,8 | 7,9 | 1,08 | 0,16 | 0,26 | 0,24 | 0,05 | 0,75 | 0,60 | 0,01 | 0,00 | 4,98 | 3,22 | 0,31 | 0,31 | 9,10 | 3,40 | 0,60 |
| RY2 | 0-20cm | 8,5 | 6,6 | 15,31 | 0,41 | 0,51 | 9,64 | 0,04 | 20,09 | 10,00 | 0,02 | 0,02 | 3,86 | 2,10 | 1,96 | 0,18 | 8,20 | 23,90 | 1,57 |
| | 20-40cm | 7,8 | 7,3 | 15,05 | 0,24 | 0,46 | 10,31 | 0,03 | 24,65 | 10,50 | 0,01 | 0,02 | 3,12 | 2,21 | 4,00 | 0,15 | 9,50 | 42,10 | 0,91 |

CE: Condutividade elétrica, RAS: Relação de Adsorção de Sódio, PST: Porcentagem de Sódio Trocável, COT: Carbono Orgânico Total

Quadro 2 - Caracterização física dos Neossolos utilizados no presente estudo: solo normal (RY1) e solo salino-sódico (RY2)

| Solo | Camada | Ds | Dp | K _o | U | ADA | EU | Areia Grossa | Areia Fina | Silte | Argila | Classe Textural |
|------|---------|--------------------|------|--------------------|------|---------------------|------|--------------------|------------|-------|--------|-----------------|
| | | g cm ⁻³ | | cm h ⁻¹ | | kg kg ⁻¹ | | g kg ⁻¹ | | | | |
| RY1 | 0-20cm | 1,56 | 2,44 | 4,60 | 0,11 | 0,05 | 0,11 | 140 | 520 | 200 | 140 | Franco-Arenosa |
| | 20-40cm | 1,58 | 2,86 | 3,12 | 0,12 | 0,06 | 0,12 | 130 | 510 | 210 | 150 | Franco-Arenosa |
| RY2 | 0-20cm | 1,45 | 2,44 | 0,00 | 0,25 | 0,08 | 0,22 | 60 | 190 | 510 | 240 | Franco-Siltosa |
| | 20-40cm | 1,54 | 2,44 | 0,22 | 0,23 | 0,18 | 0,21 | 60 | 250 | 430 | 260 | Franco-Siltosa |

Ds: Densidade do solo, Dp: Densidade de partículas, K_o: Condutividade hidráulica do solo, U: Umidade atual, ADA: argila dispersa em água; EU: Equivalente de umidade

3.4.1 – Experimento I – efeito do tempo de incubação

Neste experimento foram avaliadas as características químicas e físicas dos solos, bem como do extrato solo:solução, em resposta ao tempo de incubação com os dois compostos orgânicos indicados, aplicados separadamente. O ensaio foi montado em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2 \times 3$, correspondendo a TFSA de dois solos (RY1 e RY2), duas camadas de coleta (0 a 20 cm e 20 a 40 cm), dois compostos orgânicos (AH e AE) e três tempos de incubação (40, 80 e 150 dias), em blocos casualizados, com três repetições. Ao todo foram conduzidas 72 unidades experimentais. A dose dos compostos aplicada foi única em todos os tratamentos e equivalente a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$.

Durante a incubação, as amostras eram homogeneizadas semanalmente, a fim de minimizar a desuniformidade de condições de aeração no interior dos sacos plásticos. Nesse mesmo momento, água destilada era adicionada de forma a se manter a umidade em 80% da capacidade de campo. Finalizado o período de incubação, os sacos plásticos foram retiradas da incubadora e deixados atingir temperatura ambiente. Após a secagem ao ar, as amostras foram processadas para fins de realização das análises químicas e físicas.

A análise estatística dos dados foi promovida pela análise de variância, que foi efetuada por camada de solo, e segundo o esquema apresentado no Quadro 3. Dois contrastes ortogonais (C1 e C2) foram testados para se avaliar o efeito dos tempos de incubação. O primeiro contraste procurou comparar os dois primeiros tempos de incubação ($C1 = -y(40 \text{ d}) + y(80 \text{ d})$) e, o segundo, esses dois tempos iniciais com o maior tempo de incubação ($C2 = -y(40 \text{ d}) - y(80 \text{ d}) + 2 y(150 \text{ d})$). O contraste C1 objetivou avaliar possíveis efeitos de curto prazo, e o contraste C2, os efeitos de longo prazo.

Na discussão dos resultados dos contrastes, a expressão “tendência” quando utilizada, irá corresponder a diferenças significativas entre 5 e 25% diagnosticadas pelo teste F. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG) versão 5.0, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa.

3.4.2 – Experimento II – efeito de doses

Neste experimento foram avaliadas as características químicas e físicas dos solos, bem como do extrato solo:solução, em resposta à aplicação de doses crescentes dos dois compostos orgânicos aplicados individualmente. O ensaio foi conduzido

conforme esquema fatorial 2 x 2 x 2 x 5, correspondendo a TFSA de dois solos (RY1 e RY2), duas camadas de coleta (0 a 20 cm e 20 a 40 cm), dois compostos orgânicos (AH e AE) e cinco doses (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 g kg⁻¹), em blocos casualizados, com três repetições. Ao todo foram conduzidas 120 unidades experimentais.

O experimento foi conduzido com tempo de incubação único de 150 dias, semanalmente todas as unidades experimentais eram homogeneizadas e umedecidas para manter a umidade em 80% da capacidade de campo. Finalizado o período de incubação, os sacos plásticos foram retiradas da incubadora e deixados atingir à temperatura ambiente. Após a secagem ao ar, as amostras foram processadas para fins da realização das análises químicas e físicas.

A análise estatística dos dados foi promovida pela análise de variância, que foi efetuada por camada de solo, e segundo o esquema apresentado no Quadro 4. Análises de regressões foram conduzidas em função das doses aplicadas. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa SAEG versão 5.0.

Quadro 3 – Esquema da análise de variância de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados a duas profundidades, considerando o tempo de incubação com dois compostos orgânicos (CO): ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE)

| Fonte de Variação | Graus de Liberdade |
|-------------------|--------------------|
| Blocos | 2 |
| Solos | 1 |
| CO d/R Y1 | 1 |
| CO d/R Y2 | 1 |
| Tempo d/AH d/R Y1 | 2 |
| Tempo d/AE d/R Y1 | 2 |
| Tempo d/AH d/R Y2 | 2 |
| Tempo d/AE d/R Y2 | 2 |
| Resíduo | 22 |

Quadro 4 – Esquema da análise de variância de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados a duas profundidades, considerando a aplicação de doses crescentes de dois compostos orgânicos (CO): ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE)

| Fonte de Variação | Graus de Liberdade |
|-------------------|--------------------|
| Blocos | 2 |
| Solos | 1 |
| CO d/Ry1 | 1 |
| CO d/Ry2 | 1 |
| Dose d/AH d/Ry1 | 4 |
| Dose d/AE d/Ry1 | 4 |
| Dose d/AH d/Ry2 | 4 |
| Dose d/AE d/Ry2 | 4 |
| Resíduo | 38 |

3.5 – Metodologias analíticas utilizadas

3.5.1. Caracterização dos solos

a) Textura

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta de acordo com EMBRAPA (1997), porém, com utilização de agitação lenta de 50 rpm por 16 h (Ruiz, 2005a) e determinação de silte por pipetagem (Ruiz, 2005b).

b) Carbono orgânico total (COT)

O carbono orgânico total foi quantificado por oxidação da matéria orgânica via úmida com $K_2Cr_2O_7$ $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ em meio sulfúrico e com aquecimento externo (Yeomans e Bremner, 1988).

c) Densidade do solo e de partículas

Na determinação da densidade do solo (D_s) foi utilizado o método do torrão parafinado, pela dificuldade de obtenção do anel volumétrico. A densidade de partículas (D_p) foi avaliada pelo método do balão volumétrico, utilizando-se álcool como líquido penetrante. Ambos procedimentos foram executados segundo EMBRAPA (1997).

d) Caracterização química para solos afetados por sais

Para a avaliação dos atributos químicos originais do solo, ainda sem o efeito dos tratamentos, as amostras de solo foram submetidas às análises dos elementos solúveis, com o preparo do extrato da pasta saturada, pelo método descrito por Richards (1954). No extrato da pasta saturada mediram-se a condutividade elétrica (CE a $25 \text{ }^\circ\text{C}$) e o pH, e determinaram-se os teores dos cátions solúveis Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica; e de Na e K, por fotometria de emissão de chama.

Foram determinados os teores dos cátions trocáveis no solo Ca, Mg, K e Na, extraídos com solução de acetato de amônio 1 mol L^{-1} . Antes da extração com acetato de amônio, foi feita uma pré-lavagem do solo com álcool para a retirada do excesso de sais solúveis. A quantificação do Ca e Mg foi efetuada por espectrofotometria de absorção atômica, e de K e Na, por fotometria de emissão de chama. A capacidade de troca de cátions foi obtida pela extração com acetato de sódio e acetato de amônio 1 mol L^{-1} (Richards, 1954). Com os resultados das análises, calculou-se a relação de adsorção de sódio (RAS) e a percentagem de sódio trocável (PST), conforme Richards (1954).

3.5.2. Avaliação dos experimentos I e II

a) Distribuição e estabilidade de agregados via seca

Para a avaliação da estabilidade dos agregados foi utilizado o método do peneiramento a seco. As amostras provenientes dos experimentos foram separadas em classes de tamanho de agregados (9,52-4,0; 4,0-2,0; 2,0-1,0; 1,0-0,5; 0,50-0,250; 0,250-0,105, e < 0,105 mm) em um agitador de peneiras marca Rotap. Uma quantidade de aproximadamente 200 g de agregados de solo entre 9,52 e 4,00 mm de diâmetro foram colocadas no agitador com velocidade mantida constante e movimentos rotatórios com vibração por 15 minutos. Na seqüência, uma porção de cada fração separada foi seca em estufa a 105 °C, para a determinação da umidade residual e correção do peso. Com esses dados, calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG), segundo as equações propostas por Kemper e Chepil (1965).

b) Distribuição e estabilidade de agregados via úmida

Utilizaram-se 20 g de agregados entre 4,0 e 2,0 mm de diâmetro. As amostras foram previamente umedecidas de forma lenta com atomizador e mantidas em repouso sob temperatura ambiente por 2 horas, de forma a permitir a penetração da água nos agregados, minimizando assim sua destruição pela rápida expulsão do ar quando imerso na água (Kemper e Chepil, 1965). Na seqüência, a amostra pré-umedecida foi disposta na parte superior do conjunto de peneiras de um aparelho de oscilação vertical, do tipo Yoder, formado por unidades de malhas de 4,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25; e 0,105 mm de diâmetro. Transcorridos 15 minutos de oscilação, as amostras retidas em cada peneira foram transferidas para cápsulas de alumínio com auxílio de jatos de água. À continuação, as cápsulas, foram encaminhadas para estufa a 105 °C, onde permaneceram por um período de 24 horas, antes da pesagem. A partir dos valores de massa seca obtidos, calculou-se o DMP e DMG segundo Kemper e Chepil (1965).

c) Argila dispersa em água

A argila dispersa em água (ADA) foi determinada seguindo metodologia descrita para análise granulométrica, com agitação rápida (12.000 rpm por 15 minutos) e suprimindo-se o uso do dispersante químico (EMBRAPA, 1997).

d) Equivalente de umidade

Amostras de TFSA (cerca de 25 g de solo) foram colocadas em caixas específicas, adequadas para uso em uma centrífuga para essa determinação. Em seguida, o conjunto foi previamente saturado com água por um período mínimo de 6 horas e colocado no rotor para centrifugação a 2.440 rpm, por 30 minutos. Finalizada a centrifugação, cada amostra foi transferida para cápsulas de alumínio com tampa e previamente tarada. Anotaram-se os pesos após a centrifugação (peso úmido) e o peso seco após permanência por 24 horas em estufa a 100-105°C. Por diferença entre o peso úmido e seco, obteve-se o equivalente de umidade.

e) Grau de repelência à água

O grau de repelência à água dos agregados foi avaliado pelo método do tempo de penetração da gota de água (Letey, 1969). O teste do tempo de penetração da gota de água (TPGA) consiste na colocação de uma gota de água na superfície dos agregados do solo e a marcação do tempo gasto para que a água infiltre totalmente. Para o TPGA foram utilizados agregados menores que 2,00 mm secos ao ar, obtidos no peneiramento a seco. Cerca de 20,00 g desses agregados foram colocados em um prato e a superfície foi “alisada” suavemente com a mão. Nove gotas de água foram dispostas ao acaso sobre o solo e os tempos de infiltração cronometrados. O tempo médio de infiltração das nove gotas foi utilizado para classificar os agregados (e, portanto, o solo) quanto ao seu grau de repelência. Tempos de infiltração inferiores a 5 s são associados a solos não repelentes; de 5 a 60 s, a solos de repelência fraca; de 60 a 600 s, a solos de repelência forte; de 600 a 3600 s, a solos de repelência muito severa e tempos superiores a 3600 s, a solos de repelência extrema (King, 1981).

f) Caracterização química para solos afetados por sais

Para a avaliação dos atributos químicos em resposta aos tratamentos conduzidos, as amostras de solo foram submetidas às análises dos elementos solúveis, com o preparo do extrato solo-água na relação 1-5, pelo método descrito por Richards (1954). No extrato solo-água mediram-se a condutividade elétrica (CE a 25 °C) e o pH, e determinaram-se os teores dos cátions solúveis Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica; e Na e K, por fotometria de emissão de chama.

Nas amostras foram determinados os teores dos cátions trocáveis Ca, Mg, K e Na, extraídos com solução de acetato de amônio 1 mol L⁻¹. A quantificação do Ca e Mg

se deu por espectrofotometria de absorção atômica, e de K e Na, por fotometria de emissão de chama. A capacidade de troca de cátions foi obtida pela extração com acetato de sódio e acetato de amônio 1 mol L⁻¹ (Richards, 1954). Com os resultados das análises, calculou-se a relação de adsorção de sódio (RAS) e a percentagem de sódio trocável (PST), conforme Richards (1954).

4. Resultados e Discussão

4.1- Experimento I - efeito do tempo de incubação

4.1.1. Características físicas

A distribuição dos agregados obtidos por via seca e úmida após os tempos de incubação testados é apresentada nos Quadros 5 e 6, respectivamente.

O tempo de incubação após a adição dos compostos orgânicos promoveu alterações na distribuição de agregados por via seca para os solos estudados (Quadro 5), sendo destacável a redução da proporção dos agregados das duas menores classes de diâmetro e no maior tempo de incubação (150 dias), para as amostras provenientes da camada de 0 a 20 cm de profundidade. Os incrementos correspondentes a essa redução nas classes menores foram associados a incrementos na classe de 0,25 a 0,5 mm de diâmetro para o RY1 e, à classe de maior diâmetro, no solo salino-sódico (RY2). Na camada de 20 a 40 cm de profundidade, essa tendência se repetiu, embora com menor expressividade que a camada superficial dos solos. Provavelmente este comportamento foi decorrente da presença de mais matéria orgânica na camada superficial que favoreceu a interação da matéria orgânica adicionada com as frações mineral e orgânica.

Comparando-se o efeito dos compostos orgânicos adicionados ao solo RY1, o ácido esteárico acarretou a obtenção de maiores proporções de agregados maiores que 0,5 mm aos 150 dias de incubação do que o ácido húmico, nas duas profundidades avaliadas. Esses resultados corroboram com o verificado por Piccolo e Mbagwu (1999), que indicaram que compostos hidrofóbicos tendem a aumentar a estabilidade dos agregados por meio da formação de uma cobertura repelente à água.

Ambos os compostos orgânicos proporcionaram incrementos nas duas maiores classes de agregados, evidenciando o papel fundamental da matéria orgânica na estruturação dos solos. Isto se torna mais evidente quando se verifica a formação de agregados maiores que 4 mm na camada superficial após o maior tempo de incubação, resultado semelhante foi obtido por Bastos et al.,(2005). A importância desses agregados de maior diâmetro é notória, sendo à sua presença associadas uma boa estrutura para o desenvolvimento vegetal e a sustentabilidade ambiental do solo (Siqueira et al., 1994).

Quadro 5 - Proporção de agregados de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), separados por via seca, amostrados a duas profundidades, considerando o tempo de incubação com dois compostos orgânicos, ácido húmico (AH) ácido esteárico (AE)

| Solo | Composto Orgânico | Tempo | Classe de Agregados (mm) | | | | | | |
|--|-------------------|-------|--------------------------|---------|---------|---------|----------|------------|--------|
| | | | 9,52-4,0 | 4,0-2,0 | 2,0-1,0 | 1,0-0,5 | 0,5-0,25 | 0,25-0,105 | <0,105 |
| | | dias | kg kg ⁻¹ | | | | | | |
| Profundidade de amostragem 0-20 cm | | | | | | | | | |
| RY1 | AH | 40 | 0,000 | 0,001 | 0,027 | 0,080 | 0,229 | 0,416 | 0,247 |
| | | 80 | 0,000 | 0,000 | 0,011 | 0,057 | 0,222 | 0,450 | 0,260 |
| | | 150 | 0,023 | 0,037 | 0,067 | 0,088 | 0,475 | 0,227 | 0,082 |
| | AE | 40 | 0,000 | 0,005 | 0,033 | 0,090 | 0,212 | 0,413 | 0,247 |
| | | 80 | 0,000 | 0,002 | 0,024 | 0,091 | 0,228 | 0,431 | 0,224 |
| | | 150 | 0,053 | 0,049 | 0,084 | 0,098 | 0,434 | 0,199 | 0,084 |
| RY2 | AH | 40 | 0,122 | 0,075 | 0,153 | 0,144 | 0,111 | 0,119 | 0,276 |
| | | 80 | 0,145 | 0,068 | 0,143 | 0,136 | 0,109 | 0,124 | 0,274 |
| | | 150 | 0,345 | 0,118 | 0,108 | 0,092 | 0,110 | 0,088 | 0,139 |
| | AE | 40 | 0,187 | 0,084 | 0,135 | 0,128 | 0,098 | 0,119 | 0,248 |
| | | 80 | 0,170 | 0,083 | 0,159 | 0,135 | 0,098 | 0,122 | 0,233 |
| | | 150 | 0,374 | 0,130 | 0,128 | 0,095 | 0,098 | 0,080 | 0,095 |
| Profundidade de amostragem 20-40 cm | | | | | | | | | |
| RY1 | AH | 40 | 0,012 | 0,016 | 0,063 | 0,098 | 0,217 | 0,378 | 0,216 |
| | | 80 | 0,008 | 0,014 | 0,050 | 0,100 | 0,237 | 0,382 | 0,209 |
| | | 150 | 0,037 | 0,030 | 0,063 | 0,089 | 0,475 | 0,198 | 0,108 |
| | AE | 40 | 0,021 | 0,023 | 0,074 | 0,114 | 0,209 | 0,355 | 0,204 |
| | | 80 | 0,002 | 0,005 | 0,041 | 0,108 | 0,238 | 0,387 | 0,220 |
| | | 150 | 0,083 | 0,052 | 0,093 | 0,096 | 0,370 | 0,222 | 0,085 |
| RY2 | AH | 40 | 0,358 | 0,099 | 0,117 | 0,088 | 0,061 | 0,089 | 0,187 |
| | | 80 | 0,396 | 0,102 | 0,119 | 0,088 | 0,055 | 0,085 | 0,154 |
| | | 150 | 0,501 | 0,120 | 0,079 | 0,057 | 0,051 | 0,094 | 0,099 |
| | AE | 40 | 0,405 | 0,113 | 0,108 | 0,078 | 0,051 | 0,076 | 0,170 |
| | | 80 | 0,386 | 0,105 | 0,119 | 0,083 | 0,052 | 0,088 | 0,168 |
| | | 150 | 0,531 | 0,114 | 0,075 | 0,054 | 0,046 | 0,068 | 0,112 |

Quadro 6. Proporção de agregados de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), separados por via úmida, amostrados a duas profundidades, considerando o tempo de incubação com dois compostos orgânicos, ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE).

| Solo | Composto Orgânico | Tempo | Classe de Agregados (mm) | | | | | |
|--|-------------------|-------|--------------------------|---------|---------|----------|------------|--------|
| | | | 4,0-2,0 | 2,0-1,0 | 1,0-0,5 | 0,5-0,25 | 0,25-0,105 | <0,105 |
| | | dias | kg kg ⁻¹ | | | | | |
| Profundidade de amostragem 0-20 cm | | | | | | | | |
| RY1 | AH | 40 | 0,001 | 0,088 | 0,241 | 0,255 | 0,179 | 0,236 |
| | | 80 | 0,000 | 0,027 | 0,124 | 0,469 | 0,202 | 0,178 |
| | | 150 | 0,005 | 0,094 | 0,118 | 0,177 | 0,277 | 0,335 |
| | AE | 40 | 0,007 | 0,123 | 0,312 | 0,165 | 0,149 | 0,245 |
| | | 80 | 0,008 | 0,128 | 0,306 | 0,207 | 0,112 | 0,238 |
| | | 150 | 0,072 | 0,157 | 0,189 | 0,110 | 0,166 | 0,305 |
| RY2 | AH | 40 | 0,002 | 0,074 | 0,076 | 0,097 | 0,123 | 0,628 |
| | | 80 | 0,050 | 0,100 | 0,104 | 0,096 | 0,122 | 0,530 |
| | | 150 | 0,041 | 0,085 | 0,090 | 0,104 | 0,117 | 0,564 |
| | AE | 40 | 0,196 | 0,119 | 0,065 | 0,056 | 0,076 | 0,488 |
| | | 80 | 0,549 | 0,048 | 0,029 | 0,032 | 0,044 | 0,298 |
| | | 150 | 0,135 | 0,180 | 0,072 | 0,045 | 0,068 | 0,500 |
| Profundidade de amostragem 20-40 cm | | | | | | | | |
| RY1 | AH | 40 | 0,001 | 0,071 | 0,175 | 0,196 | 0,259 | 0,298 |
| | | 80 | 0,003 | 0,079 | 0,210 | 0,183 | 0,216 | 0,308 |
| | | 150 | 0,005 | 0,070 | 0,062 | 0,178 | 0,311 | 0,374 |
| | AE | 40 | 0,004 | 0,083 | 0,210 | 0,140 | 0,224 | 0,339 |
| | | 80 | 0,004 | 0,102 | 0,240 | 0,139 | 0,204 | 0,310 |
| | | 150 | 0,006 | 0,068 | 0,079 | 0,134 | 0,284 | 0,429 |
| RY2 | AH | 40 | 0,000 | 0,023 | 0,041 | 0,048 | 0,096 | 0,793 |
| | | 80 | 0,001 | 0,020 | 0,047 | 0,072 | 0,095 | 0,764 |
| | | 150 | 0,001 | 0,021 | 0,040 | 0,055 | 0,108 | 0,775 |
| | AE | 40 | 0,013 | 0,036 | 0,056 | 0,045 | 0,100 | 0,750 |
| | | 80 | 0,178 | 0,047 | 0,040 | 0,040 | 0,082 | 0,614 |
| | | 150 | 0,003 | 0,054 | 0,047 | 0,038 | 0,082 | 0,775 |

Na distribuição de agregados por via seca obtida para o solo salino-sódico (RY2), é destacável o incremento da proporção de agregados maiores que 2 mm de diâmetro após os 150 de incubação com os dois compostos orgânicos e nas duas profundidades estudadas. Esse incremento que, na maior parte das vezes, fez com que os agregados maiores que 2 mm correspondessem a mais da metade dos agregados do solo, foi associado à correspondente redução na proporção dos agregados das classes de menor diâmetro.

Os dados obtidos confirmam o papel da matéria orgânica como mecanismo relevante na formação e estabilização dos agregados. À medida que esse componente é reduzido no solo, principalmente pelo preparo excessivo ou pelo baixo aporte de material orgânico pelos sistemas de cultivos, decresce também o potencial de formação e a estabilidade de agregados. Para Bastos et al.(2005) o aumento da estabilidade dos agregados esta intimamente relacionado com a capacidade da matéria orgânica de se aderir às partículas minerais do solo, formando as ligações argilo-metal-húmicas.

Embora muitos trabalhos indiquem o papel da matéria orgânica na formação e estabilidade dos agregados do solo (Tisdall e Oades, 1982; Oades, 1984; Piccolo e Mbagwu, 1999; Dufranc et al., 2004), poucos são os estudos que apresentam noções que permitam avaliar o tempo necessário para que tais modificações aconteçam. Os dados do presente estudo indicam que essa dinâmica se processa de forma relativamente rápida, o que é uma importante informação para o uso e manejo desses solos e também para o direcionamento de práticas de recuperação de solos degradados.

Na distribuição de agregados separados por via úmida, como esperado, a presença de agregados maiores foi limitada pela elevada energia aplicada no procedimento analítico. Neste sentido, predominaram em ambos os solos os agregados das menores classes de diâmetro (Quadro 6). Ainda sim efeitos dos compostos orgânicos adicionados puderam ser verificados.

Considerando a camada superficial do solo RY1, nota-se que a adição de ácido esteárico levou à obtenção de maior proporção de agregados maiores do que o AH, nos três tempos de incubação estudados. Estes resultados não corroboram com os dados obtidos por Bastos et al.(2005), o qual confirma que o ácido esteárico não é muito eficiente na formação de agregados grandes, como é o AH. O fato de o ácido esteárico ser um composto hidrofóbico (caráter apolar) pode ter conferido maior resistência ao agregado à entrada da água ou mesmo sua maior resistência frente ao efeito desestruturante causado pela expulsão rápida do ar do seu interior. Na camada de 20 a

40 cm de profundidade, menores foram os efeitos sobre a formação de agregados de maior diâmetro. Também no solo salino-sódico (RY2) verificou-se um aparente efeito mais expressivo do ácido esteárico na formação de agregados maiores, em especial na camada superficial avaliada.

A análise do estado de agregação dos solos segundo os índices diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), ambos calculados a partir da distribuição das classes de agregados por via seca e via úmida, além dos dados de argila dispersa em água (ADA) e equivalente de umidade (EU) são apresentados nos Quadros 7 e 8, respectivamente, para as camadas de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm de profundidade.

Os índices DMP e DMG refletem a distribuição das classes de agregados já discutida previamente e reafirmam o incremento da agregação com o tempo de incubação do material orgânico, em especial quando a separação foi promovida por via seca.

Considerando os dois compostos orgânicos utilizados, em termos médios verifica-se que, das avaliações físicas efetuadas na camada mais superficial (Quadro 7), apenas os índices calculados para a separação por via úmida apresentaram alguma diferença. Desta forma, o ácido esteárico proporcionou maior incremento que o AH nos valores de DMP do solo não afetado por sais (RY1) e, nos valores de DMP e DMG obtidos para o solo salino-sódico (RY2). Também nesse caso, o caráter hidrofóbico do ácido esteárico pode ter contribuído para esse ganho em agregação. Para os índices calculados na separação por via seca, bem como para a argila dispersa em água (ADA) e equivalente de umidade (EU), não foi observada diferença significativa entre os compostos avaliados.

Comparando-se as médias obtidas pelos dois solos, verifica-se maior agregação do solo RY2, a partir de seus dados de DMP e DMG por via seca, e de DMP por via úmida. À natureza salino-sódica desse solo e ao seu maior teor de argila e de carbono orgânico, podem ser atribuídas a razão dessa observação. Ainda comparando-se os solos, notam-se maiores valores de ADA e EU associados ao solo afetado por sais. A maior dispersão das argilas no RY2 pode ser associada às elevadas concentrações de Na encontradas nesse solo, como previamente conhecido. Quanto ao equivalente de umidade, a superioridade do solo RY2 sobre o RY1 pode ser associada ao seu maior teor de argila e de carbono orgânico.

Quadro 7 - Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados separados por via seca e por via úmida, argila dispersa em água (ADA) e equivalente de umidade (EU) de dois Neossolos Flúvicos: normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados na camada 0-20 cm, considerando o tempo de incubação (T) com dois compostos orgânicos: ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE)

| Solo ⁽¹⁾ | Composto Orgânico ⁽²⁾ | T | Via Seca | | Via Úmida | | ADA | EU | |
|---------------------|----------------------------------|-------------|----------|-------|-----------|-------|---------------------|--------|--------|
| | | | DMP | DMG | DMP | DMG | | | |
| | | dias | mm | | | | kg kg ⁻¹ | | |
| RY1 | AH | 40 | 0,28 | 0,19 | 0,46 | 0,28 | 0,049 | 0,106 | |
| | | 80 | 0,24 | 0,17 | 0,35 | 0,26 | 0,048 | 0,108 | |
| | | 150 | 0,66 | 0,37 | 0,38 | 0,20 | 0,067 | 0,115 | |
| | | Média | | 0,39a | 0,24a | 0,40b | 0,24a | 0,055a | 0,110a |
| | AE | 40 | 0,30 | 0,19 | 0,54 | 0,31 | 0,049 | 0,106 | |
| | | 80 | 0,28 | 0,19 | 0,56 | 0,32 | 0,049 | 0,102 | |
| | | 150 | 0,69 | 0,34 | 0,68 | 0,30 | 0,066 | 0,118 | |
| | | Média | | 0,42a | 0,24a | 0,59a | 0,31a | 0,055a | 0,109a |
| | | Média Geral | | 0,41B | 0,24B | 0,49B | 0,28A | 0,055B | 0,109B |
| | RY2 | AH | 40 | 1,46 | 0,48 | 0,26 | 0,12 | 0,075 | 0,222 |
| 80 | | | 1,58 | 0,48 | 0,46 | 0,17 | 0,075 | 0,217 | |
| 150 | | | 2,98 | 1,24 | 0,41 | 0,15 | 0,102 | 0,230 | |
| | | Média | | 2,01a | 0,73a | 0,38b | 0,14b | 0,084a | 0,223a |
| AE | | 40 | 1,88 | 0,59 | 0,87 | 0,27 | 0,079 | 0,212 | |
| | | 80 | 1,81 | 0,58 | 1,78 | 0,70 | 0,074 | 0,212 | |
| | | 150 | 3,24 | 1,61 | 0,78 | 0,25 | 0,102 | 0,227 | |
| | | Média | | 2,31a | 0,93a | 1,15a | 0,41a | 0,085a | 0,217a |
| | | Média Geral | | 2,38A | 0,98A | 1,19A | 0,43A | 0,086A | 0,218A |

⁽¹⁾ Letras maiúsculas diferentes na média geral indicam diferença para solo a 5% pelo teste F.

⁽²⁾ Letras minúsculas diferentes na média, dentro de cada solo, indicam diferença para composto orgânico a 5% pelo teste F.

Quadro 8 - Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados separados por via seca e por via úmida, argila dispersa em água (ADA) e equivalente de umidade (EU) de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados na camada 20-40 cm, considerando o tempo de incubação (T) com dois compostos orgânicos, ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE)

| Solo ⁽¹⁾ | Composto Orgânico ⁽²⁾ | T | Via Seca | | Via Úmida | | ADA | EU | |
|---------------------|----------------------------------|-------------|----------|-------|-----------|-------|---------------------|--------|--------|
| | | | DMP | DMG | DMP | DMG | | | |
| | | dias | mm | | | | kg kg ⁻¹ | | |
| RY1 | AH | 40 | 0,46 | 0,23 | 0,38 | 0,22 | 0,058 | 0,119 | |
| | | 80 | 0,41 | 0,23 | 0,41 | 0,23 | 0,055 | 0,112 | |
| | | 150 | 0,72 | 0,36 | 0,31 | 0,17 | 0,080 | 0,123 | |
| | | Média | | 0,53a | 0,27a | 0,36a | 0,20a | 0,064a | 0,118a |
| | AE | 40 | 0,56 | 0,26 | 0,40 | 0,21 | 0,059 | 0,110 | |
| | | 80 | 0,34 | 0,21 | 0,45 | 0,24 | 0,063 | 0,106 | |
| | | 150 | 1,11 | 0,47 | 0,30 | 0,15 | 0,079 | 0,123 | |
| | | Média | | 0,67a | 0,31a | 0,39a | 0,20a | 0,067a | 0,113a |
| | | Média Geral | | 0,60B | 0,29B | 0,38B | 0,20A | 0,066B | 0,116B |
| RY2 | AH | 40 | 3,01 | 1,05 | 0,14 | 0,08 | 0,183 | 0,225 | |
| | | 80 | 3,28 | 1,30 | 0,15 | 0,08 | 0,190 | 0,207 | |
| | | 150 | 3,95 | 1,83 | 0,14 | 0,08 | 0,227 | 0,246 | |
| | | Média | | 3,41a | 1,39a | 0,15b | 0,08b | 0,200a | 0,226a |
| | AE | 40 | 3,34 | 1,28 | 0,21 | 0,09 | 0,189 | 0,196 | |
| | | 80 | 3,21 | 1,24 | 0,70 | 0,17 | 0,189 | 0,201 | |
| | | 150 | 4,12 | 1,97 | 0,20 | 0,09 | 0,231 | 0,236 | |
| | | Média | | 3,56a | 1,50a | 0,37a | 0,11a | 0,203a | 0,211a |
| | | Média Geral | | 3,59A | 1,53A | 0,39A | 0,12B | 0,205A | 0,213A |

⁽¹⁾ Letras maiúsculas diferentes na média geral indicam diferença para solo a 5% pelo teste F.

⁽²⁾ Letras minúsculas diferentes na média, dentro de cada solo, indicam diferença para composto orgânico a 5% pelo teste F.

Os resultados obtidos para a camada subsuperficial (Quadro 8) não indicaram haver diferenças significativas nas características físicas avaliadas a partir da adição dos compostos orgânicos no solo RY1. No caso do solo salino-sódico (RY2), diferenças foram diagnosticadas para os valores de DMP e DMG estimados por via úmida, com o ácido esteárico causando maior incremento nesses dois índices de agregação. Assim como o verificado na camada superficial (Quadro 7), o ácido esteárico desponta com maior potencial de favorecimento à agregação do que o AH.

Comparando-se as médias gerais dos dois solos na camada de 20 a 40 cm de profundidade, maiores valores para todas as estimativas foram verificadas no solo RY2, indicando sua maior agregação, maior dispersão de argilas e maior retenção de água em comparação ao solo RY1. As justificativas para esse resultado são semelhantes às

descritas previamente para a camada superficial. A única exceção foi o índice DMG estimado por via úmida, cujo valor médio foi superior no solo RY1.

A análise do efeito dos tempos de incubação sobre as características físicas via contrastes ortogonais é apresentada no Quadro 9. Considerando os índices de agregação para o solo RY1, não houve diferenças entre os dois primeiros tempos avaliados (C1). Comparando-se os dois tempos iniciais e o maior tempo de incubação (C2), verificou-se tendência de incremento nos valores de DMP via seca nas duas camadas avaliadas e para os dois compostos orgânicos aplicados. No caso do ácido esteárico aplicado na camada de 20 a 40 cm de profundidade desse solo, esse incremento foi significativo. Entretanto, diferenças significativas associadas à redução dos índices DMP e DMG estimados por via úmida também foram verificados para os dois compostos adicionados na camada subsuperficial. As doses de AH e ácido esteárico aplicados dificultaram a formação de agregados estáveis em água nos maiores tempos de incubação. Esse resultado mostra que o AH e o ácido esteárico não é muito eficiente na formação de agregados quando utilizados doses de 5g Kg^{-1} nos maiores tempos de incubação.

No caso do solo afetado por sais (RY2), os efeitos da aplicação dos compostos orgânicos e do tempo de incubação foram mais expressivos. Diferenças significativas foram verificadas segundo os índices DMP e DMG, tanto estimados por via úmida como seca, quando se considera o maior tempo de incubação avaliado (C2). Exceções para essa afirmativa somente apareceram nas avaliações efetuadas por via úmida nos tratamentos com aplicação de AH. Enquanto ao AH, nas estimativas efetuadas por via seca, foram associados incrementos de agregação, para o ácido esteárico, foram obtidas situações opostas. Para esse composto orgânico, enquanto nas determinações por via seca, os diâmetros médios foram incrementados, nas determinações por via úmida, eles foram reduzidos no maior tempo de incubação.

A dispersão de argilas foi incrementada com o tempo máximo de incubação dos dois compostos orgânicos em ambos os solos e camadas avaliadas, portanto, houve maior dispersão das argilas e conseqüentemente menor formação ou destruição de macroagregados, principalmente via úmida. O incremento de cargas negativas proporcionado pela matéria orgânica adicionada pode ter contribuído para esse resultado. Alterações significativas no equivalente de umidade somente foram verificadas na camada subsuperficial do solo afetado por sais (RY2). Entretanto tal resultado pode estar relacionado ao pequeno coeficiente de variação verificado para essa

determinação do que propriamente um efeito dos tratamentos, tendo em vista a relativa similaridade verificada nos valores obtidos (Quadro 8).

Quadro 9 - Coeficientes e significância dos contrastes ortogonais (C) do diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados separados por via seca e por via úmida, da argila dispersa em água (ADA) e do equivalente de umidade (EU) comparando o tempo de incubação em dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), com dois compostos orgânicos, ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE)

| Solo | Composto Orgânico | C ⁽¹⁾ | Via Seca | | Via Úmida | | ADA | EU |
|------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | | DMP | DMG | DMP | DMG | | |
| | | | mm | | | | kg kg ⁻¹ | |
| Profundidade 0-20 cm | | | | | | | | |
| RY1 | AH | C1 | -0,04 | -0,02 | -0,11 | -0,02 | -0,001 | 0,002 |
| | | C2 | 0,80* | 0,38 | -0,05 | -0,14* | 0,037 [#] | 0,016 |
| | AE | C1 | -0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,000 | -0,004 |
| | | C2 | 0,80* | 0,30 | 0,26 | -0,03 | 0,034 [#] | 0,028* |
| RY2 | AH | C1 | 0,12 | 0,00 | 0,20* | 0,05 | 0,000 | -0,005 |
| | | C2 | 2,92 [#] | 1,52 [#] | 0,10 | 0,01 | 0,054 [#] | 0,021* |
| | AE | C1 | -0,07 | -0,01 | 0,91 [#] | 0,43 [#] | -0,005 [#] | 0,000 |
| | | C2 | 2,79 [#] | 2,05 [#] | -1,09 [#] | -0,47 [#] | 0,051 [#] | 0,030* |
| Profundidade 20-40 cm | | | | | | | | |
| RY1 | AH | C1 | -0,05 | 0,00 | 0,03 | 0,01 | -0,003 | -0,007 |
| | | C2 | 0,57* | 0,26 | -0,17 [#] | -0,11 [#] | 0,047 [#] | 0,015 |
| | AE | C1 | -0,22 | -0,05 | 0,05 | 0,03* | 0,004* | -0,004 |
| | | C2 | 1,32 [#] | 0,47* | -0,25 [#] | -0,15 [#] | 0,036 [#] | 0,030 |
| RY2 | AH | C1 | 0,27* | 0,25* | 0,01 | 0,00 | 0,007 [#] | -0,018 |
| | | C2 | 1,61 [#] | 1,31 [#] | -0,01 | 0,00 | 0,081 [#] | 0,060 [#] |
| | AE | C1 | -0,13 | -0,04 | 0,49 [#] | 0,08 [#] | 0,000 | 0,005 |
| | | C2 | 1,69 [#] | 1,42 [#] | -0,51 [#] | -0,08 [#] | 0,084 [#] | 0,075 [#] |

⁽¹⁾ C1 = -y(40 d) + y(80 d). C2 = -y(40 d) - y(80 d) + 2 y(150 d).

[#].* Significativo a 5% e 25%, respectivamente, pelo teste F.

4.1.2. Características do extrato solo:água

Os resultados da aplicação dos compostos orgânicos considerando os diferentes tempos de incubação sobre as características do extrato solo:água (1:5) são apresentados nos Quadros 10 e 11, respectivamente, para as profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm de profundidade.

Na camada superficial do solo RY1, em termos médios, à adição de ácido esteárico foi associado um incremento nos valores de pH e redução da condutividade elétrica (CE) e dos teores de Ca no extrato, em comparação com a adição de AH (Quadro 10). No solo salino-sódico (RY2), à aplicação de ácido esteárico foi associada as reduções nos valores de CE e dos teores de Ca, Mg e Na.

A aplicação dos compostos orgânicos, independente do tipo de solo, incrementou os teores dos cátions no extrato solo:água, como pode ser verificado a partir da comparação dos valores obtidos após a incubação e aqueles presentes na caracterização inicial dos solos (Quadro 1). Somente para o Na no solo RY2 houve redução de teores, o qual passou de $9,64 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ para valores abaixo de $9,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$. Neste mesmo solo também ocorreu redução do pH com a aplicação dos dois compostos orgânicos quando comparados aos valores de pH originais.

A comparação dos valores médios obtidos para o extrato solo:água dos dois solos reflete a natureza dos mesmos. No solo salino-sódico, como esperado, foram obtidos maiores valores de cátions solúveis (à exceção do K) e CE do que no solo RY1. O Na presente no extrato do solo RY2, por exemplo, é bastante elevado, sendo quase 10 (dez vezes) maior do que no solo RY1.

Nos dados obtidos para a camada subsuperficial (Quadro 11), a adição de ácido esteárico no solo RY1 proporcionou maiores valores de pH, Ca e Mg. No solo salino-sódico, diferenças entre os compostos orgânicos adicionados foram verificadas apenas para o Na, cujos teores foram maiores no tratamento com ácido húmico.

Na comparação entre médias obtidas para os solos, novamente o caráter salino-sódico do solo RY2 determina os resultados observados. Merece destaque a redução dos teores de Ca e Mg e o incremento de Na nesta camada em comparação com a camada mais superficial. A condutividade elétrica por si só sumariza a diferença entre os solos avaliados, já que é uma estimativa diretamente associada à quantidade de sais presentes na solução.

Quadro 10 - Valores de pH, condutividade elétrica (CE), concentração de Ca, Mg, Na e K e relação de adsorção de sódio (RAS) no extrato 1:5 de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados na camada 0-20 cm, considerando o tempo de incubação (T) com dois compostos orgânicos, ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE)

| Solo ⁽¹⁾ | Composto Orgânico ⁽²⁾ | T | pH | CE | Ca | Mg | Na | K | RAS | |
|---------------------|----------------------------------|-------------|------|-----------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------------------|--------|
| | | dias | | $\mu\text{S cm}^{-1}$ | $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ | | | | $(\text{mmol}_c \text{L}^{-1})^{0,5}$ | |
| RY1 | AH | 40 | 5,92 | 288 | 0,56 | 0,68 | 0,96 | 0,23 | 8,01 | |
| | | 80 | 6,09 | 365 | 0,79 | 0,95 | 1,22 | 0,29 | 6,86 | |
| | | 150 | 6,02 | 318 | 0,22 | 0,39 | 0,92 | 0,23 | 14,84 | |
| | | Média | | 6,01b | 324a | 0,52a | 0,67a | 1,03a | 0,25a | 9,91a |
| | AE | 40 | 6,67 | 134 | 0,10 | 0,41 | 0,84 | 0,19 | 12,91 | |
| | | 80 | 6,61 | 153 | 0,20 | 0,61 | 0,78 | 0,21 | 11,43 | |
| | | 150 | 6,80 | 130 | 0,41 | 0,71 | 0,71 | 0,29 | 8,75 | |
| | | Média | | 6,69a | 139b | 0,24b | 0,58a | 0,77a | 0,23a | 11,03a |
| | | Média Geral | | 6,35a | 231B | 0,38B | 0,62B | 0,90B | 0,24 | 10,47A |
| | RY2 | AH | 40 | 5,11 | 1752 | 4,46 | 2,81 | 8,74 | 0,24 | 3,58 |
| 80 | | | 5,05 | 1764 | 5,04 | 2,31 | 8,56 | 0,31 | 3,58 | |
| 150 | | | 5,43 | 1764 | 3,56 | 2,24 | 8,24 | 0,24 | 4,05 | |
| | | Média | | 5,19a | 1760a | 4,35a | 2,45a | 8,51a | 0,26a | 3,73a |
| AE | | 40 | 5,08 | 1519 | 3,71 | 2,33 | 7,67 | 0,24 | 4,00 | |
| | | 80 | 5,13 | 1608 | 3,94 | 2,44 | 8,21 | 0,26 | 3,94 | |
| | | 150 | 5,42 | 1607 | 0,35 | 0,61 | 8,30 | 0,24 | 10,19 | |
| | | Média | | 5,21a | 1578b | 2,67b | 1,80b | 8,06b | 0,24a | 6,04a |
| | | Média Geral | | 5,20B | 1669A | 3,51A | 2,12A | 8,29A | 0,25 | 4,89B |

⁽¹⁾ Letras maiúsculas diferentes na média geral indicam diferença para solo a 5% pelo teste F.

⁽²⁾ Letras minúsculas diferentes na média, dentro de cada solo, indicam diferença para composto orgânico a 5% pelo teste F.

Quadro 11 - Valores de pH, condutividade elétrica (CE), concentração de Ca, Mg, Na e K e relação de adsorção de sódio (RAS) no extrato 1:5 de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados na camada 20-40 cm, considerando o tempo de incubação (T) com dois compostos orgânicos, ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE)

| Solo ⁽¹⁾ | Composto Orgânico ⁽²⁾ | T | pH | CE | Ca | Mg | Na | K | RAS | |
|---------------------|----------------------------------|-------------|------|-----------------------|-------------------------------|-------|-------|--------|---------------------------------------|--------|
| | | dias | | $\mu\text{S cm}^{-1}$ | $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ | | | | $(\text{mmol}_c \text{L}^{-1})^{0,5}$ | |
| RY1 | AH | 40 | 6,21 | 228 | 0,49 | 0,59 | 0,94 | 0,14 | 9,20 | |
| | | 80 | 6,09 | 253 | 0,57 | 0,69 | 0,94 | 0,16 | 8,51 | |
| | | 150 | 6,11 | 255 | 0,17 | 0,34 | 0,97 | 0,15 | 15,12 | |
| | | Média | | 6,14b | 245a | 0,41b | 0,54b | 0,95a | 0,15a | 10,94a |
| | AE | 40 | 6,77 | 120 | 0,26 | 0,64 | 0,71 | 0,11 | 11,65 | |
| | | 80 | 6,77 | 124 | 0,13 | 0,42 | 0,71 | 0,13 | 16,07 | |
| | | 150 | 6,53 | 114 | 3,02 | 1,94 | 0,66 | 0,29 | 5,15 | |
| | | Média | | 6,69a | 119a | 1,13a | 1,00a | 0,69a | 0,18a | 10,96a |
| | | Média Geral | | 6,42A | 182B | 0,77A | 0,77A | 0,82B | 0,16B | 10,9A |
| | RY2 | AH | 40 | 6,20 | 1542 | 1,04 | 0,98 | 16,35 | 0,29 | 7,51 |
| 80 | | | 6,07 | 1605 | 0,54 | 0,74 | 16,89 | 0,29 | 9,01 | |
| 150 | | | 6,24 | 1418 | 0,28 | 0,55 | 14,92 | 0,75 | 11,20 | |
| | | Média | | 6,17a | 1522a | 0,62a | 0,76a | 16,05a | 0,44a | 9,24a |
| AE | | 40 | 6,07 | 1389 | 0,03 | 0,30 | 15,49 | 0,20 | 17,88 | |
| | | 80 | 6,08 | 1431 | 0,74 | 0,79 | 13,70 | 0,08 | 8,40 | |
| | | 150 | 6,38 | 1419 | 0,90 | 0,87 | 14,68 | 0,63 | 8,11 | |
| | | Média | | 6,18a | 1413a | 0,56a | 0,65a | 14,62b | 0,30a | 11,47a |
| | | Média Geral | | 6,18B | 1467A | 0,59A | 0,70A | 15,3A | 0,37A | 10,3A |

⁽¹⁾ Letras maiúsculas diferentes na média geral indicam diferença para solo a 5% pelo teste F.

⁽²⁾ Letras minúsculas diferentes na média, dentro de cada solo, indicam diferença para composto orgânico a 5% pelo teste F.

A avaliação do efeito dos tempos de incubação segundo os contrastes testados é apresentada no Quadro 12. Os valores de pH do extrato praticamente não foram afetados pela adição e incubação das amostras com AH. Com a adição de ácido esteárico, principalmente considerando o tempo máximo de incubação (C2), predominaram tendências de alteração do pH de forma errática. Para a CE, no máximo, tendências também foram obtidas de alteração com o passar do tempo de incubação. No caso do ácido húmico isto ocorreu entre as duas doses iniciais (C1) para o RY1, com elevação da CE, e na comparação do maior tempo de incubação com as duas iniciais (C2) para o RY2, onde se verificou redução da CE. Com ácido esteárico, tendência de incremento de CE foi diagnosticada no contraste C1 para RY2.

Para o cátion solúvel Ca, os efeitos foram mais limitados à camada superficial do solo, considerando o contraste de longo tempo (C2), indicando que ocorreu redução dos teores desse cátion com a incubação. Para o Na, tendências foram verificadas na camada superficial e diferenças significativas na camada subsuperficial, ambas apenas para o solo salino-sódico. No caso do AH, as diferenças foram no contraste de longo tempo (C2) e, para o ácido esteárico, para o contraste de curto tempo (C1).

Quadro 13 – Coeficientes e significância dos contrastes ortogonais (C) do pH, condutividade elétrica (CE), concentração de Ca, Mg, Na e K e relação de adsorção de sódio (RAS) no extrato solo-água 1:5, comparando o tempo de incubação em dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), com dois compostos orgânicos, ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE)

| Solo | Composto Orgânico | C ⁽¹⁾ | pH | CE μS cm ⁻¹ | Ca mmol _c L ⁻¹ | Mg mmol _c L ⁻¹ | Na mmol _c L ⁻¹ | K mmol _c L ⁻¹ | RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5} |
|------------------------------|-------------------|------------------|--------|---------------------------|---|---|---|--|--|
| Profundidade 0-20 cm | | | | | | | | | |
| RY1 | AH | C1 | 0,17 | 77,33* | 0,23 | 0,27 | 0,26 | 0,06* | -1,15 |
| | | C2 | 0,03 | -16,67 | -0,91 [#] | -0,85* | -0,34 | -0,06 | 14,81 [#] |
| | AE | C1 | -0,06 | 18,40 | 0,10 | 0,20 | -0,06 | 0,02 | -1,48 |
| | | C2 | 0,32 | -27,68 | 0,52* | 0,40 | -0,20 | 0,18 [#] | -6,84* |
| RY2 | AH | C1 | -0,06 | 12,00 | 0,58 [#] | -0,50* | -0,18 | 0,07* | 0,00 |
| | | C2 | 0,7* | 13,40 | -2,38 [#] | -0,64* | -0,82* | -0,07 | 0,94 |
| | AE | C1 | 0,05 | 89,30* | 0,23 | 0,11 | 0,54* | 0,02 | -0,06 |
| | | C2 | 0,63* | 87,30 | -6,95 [#] | -3,55 [#] | 0,72 | -0,02 | 12,44 [#] |
| Profundidade 20-40 cm | | | | | | | | | |
| RY1 | AH | C1 | -0,12 | 24,67 | 0,08 | 0,10 | 0,00 | 0,02 | -0,69 |
| | | C2 | -0,08 | 28,01 | -0,72 | -0,60* | 0,06 | 0,00 | 12,53 [#] |
| | AE | C1 | 0,00 | 3,70 | -0,13 | -0,22 | 0,00 | 0,02 | 4,42 |
| | | C2 | -0,48* | -16,02 | 5,65 [#] | 2,82 [#] | -0,10 | 0,34 | -17,40 [#] |
| RY2 | AH | C1 | -0,13 | 63,30 | -0,50 | -0,24 | 0,54 | 0,00 | 1,50 |
| | | C2 | 0,21 | -310,1* | -1,02 | -0,62* | -3,4 [#] | 0,92 [#] | 5,88* |
| | AE | C1 | 0,01 | 41,70 | 0,71* | 0,49* | -1,79 [#] | -0,12 | -9,48 [#] |
| | | C2 | 0,61* | 19,70 | 1,03 | 0,65* | 0,17 | 0,98 [#] | -10,06 [#] |

⁽¹⁾ C1 = -y(40 d) + y(80 d). C2 = -y(40 d) - y(80 d) + 2 y(150 d).

^{#,*} Significativo a 5% e 25%, respectivamente, pelo teste F.

4.1.3. Características químicas

As características químicas dos solos estudados após a aplicação dos diferentes compostos orgânicos e os tempos de incubação são apresentadas nos Quadros 13 e 14, respectivamente, para as amostras de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm de profundidade.

A aplicação dos AH proporcionou aumento nos teores médios de Ca, Mg e K em relação ao ácido esteárico na camada superficial do solo RY1 (Quadro 13). As demais variáveis avaliadas não apresentaram diferenças significativas entre os compostos orgânicos e os tempos de incubação avaliados.

Comparando-se os valores de Ca, Mg e K obtidos com o solo RY1 no início do experimento (Quadro 1), verifica-se que não houve efeito do tempo de incubação após os 150 dias. Entretanto, há acréscimo nos valores de Na e PST. Este acréscimo pode ser associado à presença de Na no material orgânico aplicado.

No solo salino-sódico não se verificaram diferenças entre os compostos orgânicos aplicados. Comparando-se com os valores originais (Quadro 1), nota-se que a adição dos compostos orgânicos nesse solo proporcionou acréscimo nos teores de Ca, Mg e K, e diminuição na PST. Esse solo, inicialmente classificado como salino-sódico, ao final do experimento, apresentou valores de PST abaixo de 15 % na camada de 0 a 20 cm de profundidade e valores de CE abaixo de 4 dS m⁻¹ (Quadro 10). Esse resultado leva a uma reclassificação do solo, tornando-o solo normal, sem o efeito salino sódico, segundo a classificação de Richards (1954). A determinação da CE não foi realizada pelo extrato da pasta saturada, e sim, pelo método do extrato solo-água na relação 1:5. Este método pode subestimar a CE em relação ao extrato da pasta, pois na relação 1:5 a solução encontra-se mais diluída.

Na comparação entre solos, novamente o caráter do solo afetado por sais determina as diferenças verificadas entre RY1 e RY2. Considerando a camada subsuperficial (Quadro 14), diferenças significativas entre os compostos orgânicos somente foram verificadas para os teores de Mg e Na, respectivamente para os solos RY1 e RY2. Em ambos os casos os maiores teores foram associados à aplicação do ácido húmico. Diferenças entre os valores médios das variáveis obtidas para os dois solos avaliados também foram verificadas, embora em intensidade menor do que o diagnosticado na camada superficial.

Quadro 13 - Capacidade de troca catiônica (CTC), teores de Ca, Mg, Na e K trocáveis e percentagem de saturação de sódio (PST) de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados na camada 0-20 cm, considerando o tempo de incubação (T) com dois compostos orgânicos, ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE)

| Solo ⁽¹⁾ | Composto Orgânico ⁽²⁾ | T | CTC | Ca | Mg | Na | K | PST |
|---------------------|----------------------------------|-----|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | | | | | | | |
| RY1 | AH | 40 | 10,49 | 5,53 | 3,24 | 0,59 | 0,53 | 5,64 |
| | | 80 | 10,59 | 5,32 | 3,24 | 0,56 | 0,52 | 5,32 |
| | | 150 | 11,44 | 5,08 | 3,11 | 0,57 | 0,54 | 4,99 |
| | Média | | 10,84a | 5,31a | 3,20a | 0,57a | 0,53a | 5,32a |
| | AE | 40 | 10,06 | 4,75 | 2,78 | 0,56 | 0,47 | 5,60 |
| | | 80 | 10,17 | 4,96 | 2,92 | 0,55 | 0,48 | 5,43 |
| | | 150 | 10,17 | 4,90 | 2,89 | 0,56 | 0,48 | 5,51 |
| | Média | | 10,13a | 4,87b | 2,86b | 0,56a | 0,48b | 5,51a |
| | Média Geral | | 10,49B | 5,09B | 3,03B | 0,57B | 0,50B | 5,41B |
| | RY2 | AH | 40 | 15,17 | 9,38 | 3,69 | 1,88 | 0,76 |
| 80 | | | 16,55 | 8,90 | 3,51 | 1,94 | 0,74 | 11,72 |
| 150 | | | 16,34 | 9,16 | 3,68 | 1,70 | 0,75 | 10,40 |
| Média | | | 16,02a | 9,15a | 3,63a | 1,84a | 0,75a | 11,57a |
| AE | | 40 | 16,55 | 9,13 | 3,73 | 1,76 | 0,72 | 10,60 |
| | | 80 | 15,81 | 9,16 | 3,72 | 1,88 | 0,71 | 11,94 |
| | | 150 | 16,13 | 8,96 | 3,71 | 1,79 | 0,75 | 11,09 |
| Média | | | 16,16a | 9,08a | 3,72a | 1,81a | 0,73a | 11,21a |
| Média Geral | | | 16,09A | 9,11A | 3,67A | 1,82A | 0,74A | 11,39A |

⁽¹⁾ Letras maiúsculas diferentes na média geral indicam diferença para solo a 5% pelo teste F.

⁽²⁾ Letras minúsculas diferentes na média, dentro de cada solo, indicam diferença para composto orgânico a 5% pelo teste F

Quadro 14 - Capacidade de troca catiônica (CTC), teores de Ca, Mg, Na e K trocáveis e percentagem de saturação de sódio (PST) de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados na camada 20-40 cm, considerando o tempo de incubação (T) com dois compostos orgânicos, ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE)

| Solo ⁽¹⁾ | Composto Orgânico ⁽²⁾ | T | CTC | Ca | Mg | Na | K | PST |
|---------------------|----------------------------------|-----|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | | | | | | | |
| RY1 | AH | 40 | 10,70 | 5,96 | 3,25 | 0,62 | 0,35 | 5,80 |
| | | 80 | 11,55 | 5,70 | 3,17 | 0,58 | 0,34 | 5,01 |
| | | 150 | 11,34 | 5,88 | 3,29 | 0,57 | 0,36 | 5,04 |
| | Média | | 11,20a | 5,84a | 3,24a | 0,59a | 0,35a | 5,28a |
| | AE | 40 | 10,06 | 5,72 | 3,00 | 0,59 | 0,35 | 5,96 |
| | | 80 | 10,70 | 5,46 | 2,99 | 0,56 | 0,35 | 5,23 |
| | | 150 | 10,06 | 5,62 | 3,02 | 0,53 | 0,32 | 5,30 |
| | Média | | 10,27a | 5,60a | 3,00b | 0,56a | 0,34a | 5,50a |
| | Média Geral | | 10,74B | 5,72A | 3,12A | 0,58B | 0,34A | 5,39B |
| RY2 | AH | 40 | 15,91 | 5,76 | 2,38 | 5,98 | 0,20 | 37,57 |
| | | 80 | 16,76 | 5,61 | 2,44 | 6,04 | 0,20 | 36,12 |
| | | 150 | 16,76 | 5,78 | 2,45 | 5,98 | 0,17 | 35,67 |
| | Média | | 16,48a | 5,72a | 2,42a | 6,00a | 0,19a | 36,45a |
| | AE | 40 | 17,30 | 5,48 | 2,34 | 5,70 | 0,17 | 33,70 |
| | | 80 | 15,81 | 5,37 | 2,36 | 5,92 | 0,20 | 37,49 |
| | | 150 | 15,59 | 5,49 | 2,42 | 5,89 | 0,20 | 37,76 |
| | Média | | 16,23a | 5,45a | 2,37a | 5,84b | 0,19a | 36,32a |
| | Média Geral | | 16,36A | 5,58A | 2,40B | 5,92A | 0,19A | 36,38A |

⁽¹⁾ Letras maiúsculas diferentes na média geral indicam diferença para solo a 5% pelo teste F.

⁽²⁾ Letras minúsculas diferentes na média, dentro de cada solo, indicam diferença para composto orgânico a 5% pelo teste F.

No RY2 há respostas diferentes entre as camadas (Quadros 13 e 14), com teores mais elevados de Ca, Mg e K na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Para o Na e PST ocorreu situação inversa, com a camada subsuperficial apresentando valores bem mais elevados do que a superficial.

Na camada de 0 a 20 cm de profundidade nos dois solos, o Ca foi o principal contribuinte para a CTC, seguido pelo Mg, acarretando menor dispersão das argilas e menor PST. Situação semelhante também se verificou no solo RY1 na camada de 20 a 40 cm. No entanto, no solo salino-sódico, nesta camada subsuperficial, o Na apresentou-se como o principal contribuinte na CTC, seguido do Ca e Mg. Como consequência verificou-se um incremento da dispersão de argilas, chegando-se a valores de 20 %, e também uma elevação nos valores de PST, que superaram os 36 %.

Os contrastes ortogonais testados para a avaliação do efeito do tempo de incubação são apresentados no Quadro 15. Os resultados obtidos indicaram não haver diferenças significativas entre os tempos de incubação avaliados sobre as propriedades químicas dos solos estudados nas duas profundidades consideradas. Apenas algumas tendências puderam ser constatadas. Para a CTC obteve-se tendência de aumento nos dois solos na camada superficial com aplicação do ácido húmico, sendo que no solo RY1 isto se verificou no longo tempo (C2) e, para o solo RY2, no curto tempo (C1). Na camada subsuperficial, apenas a aplicação do ácido esteárico no solo salino-sódico proporcionou tendência de redução da CTC com o aumento do tempo de incubação. Para Ca e Mg, tendências de redução nos teores foram verificadas apenas na camada superficial com a aplicação do ácido húmico nos dois solos, sendo na avaliação de longo prazo (C2) no solo RY1 e na de curto prazo (C1) no RY2. Os teores de Na apresentaram tendência de incremento nas duas camadas avaliadas para o solo salino-sódico após a adição e incubação com doses de ácido esteárico.

Quadro 15 - Coeficientes e significância dos contrastes ortogonais (C) da Capacidade de troca catiônica (CTC), teores de Ca, Mg, Na e K trocáveis e percentagem de sódio trocável (PST) comparando o tempo de incubação em dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), com dois compostos orgânicos, ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE)

| Solo | Composto Orgânico | C ⁽¹⁾ | cmol _c dm ⁻³ | | | | | PST |
|------------------------------|-------------------|------------------|------------------------------------|--------|--------|--------------------|--------|-------------------|
| | | | CTC | Ca | Mg | Na | K | |
| Profundidade 0-20 cm | | | | | | | | |
| RY1 | AH | C1 | 0,10 | -0,21 | 0,00 | -0,03 | -0,01 | -0,32 |
| | | C2 | 1,80* | -0,69* | -0,26* | -0,01 | 0,03 | -0,98 |
| | AE | C1 | 0,11 | 0,21 | 0,14 | -0,01 | 0,01 | -0,17 |
| | | C2 | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0,01 | 0,01 | -0,01 |
| RY2 | AH | C1 | 1,38* | -0,48* | -0,18* | 0,06 | -0,02 | -0,86* |
| | | C2 | 0,96 | 0,04 | 0,16 | -0,42 [#] | 0,00 | -3,5 [#] |
| | AE | C1 | -0,74 | 0,03 | -0,01 | 0,12* | -0,01 | 1,34 [#] |
| | | C2 | -0,10 | -0,37 | -0,03 | -0,06 | 0,07 | -0,36 |
| Profundidade 20-40 cm | | | | | | | | |
| RY1 | AH | C1 | 0,85 | -0,26 | -0,08 | -0,04 | -0,01 | -0,79 |
| | | C2 | 0,43 | 0,10 | 0,16 | -0,06 | 0,03 | -0,73 |
| | AE | C1 | 0,64 | -0,26 | -0,01 | -0,03 | 0,00 | -0,73 |
| | | C2 | -0,64 | 0,06 | 0,05 | -0,09 | -0,06* | -0,59 |
| RY2 | AH | C1 | 0,85 | -0,15 | 0,06 | 0,06 | 0,00 | -1,45 |
| | | C2 | 0,85 | 0,19 | 0,08 | -0,06 | -0,06* | -2,35 |
| | AE | C1 | -1,49* | -0,11 | 0,02 | 0,22* | 0,03 | 3,79 [#] |
| | | C2 | -1,93* | 0,13 | 0,14 | 0,16 | 0,03 | 4,33 [#] |

⁽¹⁾ C1 = -y(40 d) + y(80 d). C2 = -y(40 d) - y(80 d) + 2 y(150 d).

^{#,*} Significativo a 5% e 25%, respectivamente, pelo teste F.

4.1.4. Grau de repelência a água

A avaliação do grau de repelência à água após os diferentes tempos de incubação não indicou distinção entre os tratamentos. Independentemente do solo ou da camada avaliada, todas as gotas adicionadas rapidamente se infiltraram em tempos inferiores a 5 s, o que determina a classificação dos solos como não repelentes.

Embora fosse esperado um ganho de repelência com a aplicação dos compostos orgânicos, em especial com a adição do ácido esteárico, isto não se confirmou. Explicações para o ocorrido podem ser centradas ou no tempo de incubação ou, principalmente, na dose aplicada, que não se mostrou suficiente para que a repelência aparecesse. Provavelmente a possível baixa dose fez com que mesmo formando agregados não houve sítios hidrofóbicos expostos ou que o material orgânico exposto pode ter sido consumido pelos microrganismos.

Como a literatura não apresenta trabalhos em que testes de repelência foram executados com solos de textura média/arenosa, como os utilizados no presente estudo, a definição da dose única de 5,0 g kg⁻¹ foi de certa forma arbitrária, tendo se mostrado possivelmente aquém do necessário para que diferenças fossem evidenciadas.

4.2- Experimento II - efeito das doses dos compostos orgânicos

4.2.1. Características físicas

A distribuição das classes de diâmetro dos agregados separados por via seca nos solos após a aplicação de doses crescentes dos ácidos húmico e esteárico é apresentada no Quadro 16. Os dados indicam a gênese de agregados maiores que 2 mm para ambos os solos e compostos orgânicos. A incubação sem aplicação de material orgânico (dose = 0 g kg⁻¹) também favoreceu a formação de agregados, principalmente no solo RY2 nas duas profundidades separados por via seca. Neste caso, os efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem verificados durante a condução dos ensaios podem ter favorecido a formação de agregados. Porém, estes resultados não concordam com os obtidos por Bastos et al. (2005), os quais afirmam que os ciclos de umedecimento e secagem reduziram a agregação do solo.

A formação de novos agregados foi mais expressiva no solo salino-sódico (RY2), no qual a aplicação dos compostos orgânicos causou incremento considerável, principalmente, na classe de agregados de diâmetro maior que 4 mm, que se aproximou ou mesmo ultrapassou 50 % de todos os agregados desse solo. No solo não afetado por sais (RY1), o efeito dos materiais orgânicos não se mostrou muito expressivo, sendo a distribuição de classes de diâmetro após o período de incubação relativamente semelhante ao verificado na testemunha.

Na comparação entre o AH e o ácido esteárico verificou-se que para os dois solos analisados a formação de agregados foram semelhantes. Para Hayes & Malcolm, (2001) o AH é uma molécula que apresenta tanto caráter hidrofílico, quanto hidrofóbico. Assim, esse pode interagir tanto com a fase coloidal do solo por meio de ligações hidrofílicas e exibir alguma repelência água na superfície dos agregados, devido a porção hidrofóbica da molécula, tornando assim, menos propenso a desestruturação.

Os resultados das proporções de agregados obtidas pela separação por via úmida (Quadro 17), de certa forma, apontam na mesma direção do verificado pela via seca. Há menor efeito das aplicações das doses crescentes dos compostos orgânicos sobre o solo RY1 e um maior efeito sobre o solo salino-sódico (RY2). Agregados maiores que 2 mm também foram formados a partir do procedimento experimental, sendo tal gênese mais efetiva com a adição do ácido esteárico do que com o AH. Esse fenômeno de formação de agregados foi mais evidente na camada mais superficial do solo afetado por sais

(RY2) em relação a camada subsuperficial e esse resultado deve estar associado à maior presença de Na no sistema (Quadro 1). Diferentemente do que ocorreu na separação de agregados por via seca, a dose com ausência de compostos orgânicos (dose 0 g kg⁻¹) praticamente não influenciou na formação de agregados, neste caso, o ciclo de umedecimento e secagem não favoreceu a formação de agregados. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Chaney & Swift (1986b) os quais chegaram a resultados que mostravam que os ciclos de umedecimento e secagem não melhoraram a estabilidade de agregados analisados por via úmida.

Há que se ressaltar que a separação de agregados por via úmida leva a obtenção de classes de agregados considerados de maior estabilidade no solo, já que no procedimento analítico uma alta energia é utilizada no procedimento de tamizamento em água. Portanto, a aplicação dos compostos orgânicos, em especial do ácido esteárico em amostras dos primeiros 20 cm do solo salino-sódico, proporcionou a geração de agregados de maior tamanho e estabilidade com apenas 150 dias de incubação, o que se revela como um potencial a ser explorado em condições de campo para fins de correção dos problemas de ordem física que sofrem esses solos.

Quadro 16 - Proporção de agregados de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), separados por via seca, amostrados na camada 0-20 e 20-40 cm, considerando a dose de dois compostos orgânicos, ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE), aplicada

| Solo | Composto Orgânico | Dose | Classe de Agregados (mm) | | | | | | |
|------|-------------------|--------------------|--|---------|---------|---------|----------|------------|--------|
| | | | 9,52-4,0 | 4,0-2,0 | 2,0-1,0 | 1,0-0,5 | 0,5-0,25 | 0,25-0,105 | <0,105 |
| | | g kg ⁻¹ | kg kg ⁻¹ | | | | | | |
| | | | Profundidade de amostragem 0-20 cm | | | | | | |
| RY1 | AH | 0 | 0,011 | 0,012 | 0,033 | 0,071 | 0,217 | 0,404 | 0,252 |
| | | 2,5 | 0,027 | 0,027 | 0,033 | 0,057 | 0,182 | 0,411 | 0,263 |
| | | 5 | 0,016 | 0,021 | 0,041 | 0,071 | 0,199 | 0,407 | 0,245 |
| | | 7,5 | 0,029 | 0,028 | 0,045 | 0,074 | 0,299 | 0,333 | 0,186 |
| | | 10 | 0,012 | 0,014 | 0,040 | 0,077 | 0,214 | 0,401 | 0,242 |
| | AE | 0 | 0,019 | 0,020 | 0,046 | 0,081 | 0,327 | 0,334 | 0,173 |
| | | 2,5 | 0,032 | 0,033 | 0,061 | 0,083 | 0,296 | 0,321 | 0,175 |
| | | 5 | 0,047 | 0,031 | 0,042 | 0,076 | 0,210 | 0,365 | 0,229 |
| | | 7,5 | 0,038 | 0,033 | 0,051 | 0,082 | 0,206 | 0,386 | 0,204 |
| | | 10 | 0,067 | 0,037 | 0,045 | 0,072 | 0,322 | 0,284 | 0,172 |
| RY2 | AH | 0 | 0,503 | 0,121 | 0,074 | 0,053 | 0,047 | 0,083 | 0,119 |
| | | 2,5 | 0,482 | 0,124 | 0,080 | 0,059 | 0,042 | 0,066 | 0,147 |
| | | 5 | 0,421 | 0,120 | 0,079 | 0,062 | 0,050 | 0,092 | 0,177 |
| | | 7,5 | 0,515 | 0,126 | 0,083 | 0,068 | 0,056 | 0,068 | 0,085 |
| | | 10 | 0,449 | 0,120 | 0,088 | 0,068 | 0,054 | 0,100 | 0,120 |
| | AE | 0 | 0,458 | 0,112 | 0,071 | 0,054 | 0,044 | 0,083 | 0,178 |
| | | 2,5 | 0,488 | 0,123 | 0,078 | 0,059 | 0,054 | 0,079 | 0,119 |
| | | 5 | 0,482 | 0,125 | 0,087 | 0,065 | 0,058 | 0,078 | 0,105 |
| | | 7,5 | 0,445 | 0,115 | 0,081 | 0,063 | 0,054 | 0,086 | 0,156 |
| | | 10 | 0,536 | 0,122 | 0,076 | 0,057 | 0,043 | 0,070 | 0,095 |
| | | | Profundidade de amostragem 20-40 cm | | | | | | |
| RY1 | AH | 0 | 0,076 | 0,054 | 0,059 | 0,075 | 0,319 | 0,265 | 0,153 |
| | | 2,5 | 0,086 | 0,059 | 0,050 | 0,067 | 0,171 | 0,356 | 0,211 |
| | | 5 | 0,083 | 0,043 | 0,043 | 0,065 | 0,163 | 0,346 | 0,257 |
| | | 7,5 | 0,083 | 0,056 | 0,058 | 0,071 | 0,175 | 0,334 | 0,223 |
| | | 10 | 0,081 | 0,046 | 0,057 | 0,072 | 0,174 | 0,342 | 0,228 |
| | AE | 0 | 0,099 | 0,057 | 0,076 | 0,092 | 0,219 | 0,300 | 0,157 |
| | | 2,5 | 0,058 | 0,035 | 0,052 | 0,080 | 0,184 | 0,350 | 0,240 |
| | | 5 | 0,111 | 0,064 | 0,068 | 0,081 | 0,210 | 0,297 | 0,168 |
| | | 7,5 | 0,187 | 0,076 | 0,075 | 0,082 | 0,255 | 0,210 | 0,115 |
| | | 10 | 0,089 | 0,048 | 0,063 | 0,081 | 0,168 | 0,347 | 0,205 |
| RY2 | AH | 0 | 0,529 | 0,132 | 0,073 | 0,048 | 0,034 | 0,062 | 0,123 |
| | | 2,5 | 0,540 | 0,123 | 0,071 | 0,050 | 0,035 | 0,062 | 0,119 |
| | | 5 | 0,573 | 0,116 | 0,066 | 0,043 | 0,033 | 0,054 | 0,116 |
| | | 7,5 | 0,519 | 0,121 | 0,068 | 0,049 | 0,037 | 0,073 | 0,133 |
| | | 10 | 0,508 | 0,121 | 0,071 | 0,051 | 0,038 | 0,068 | 0,143 |
| | AE | 0 | 0,583 | 0,124 | 0,069 | 0,044 | 0,028 | 0,054 | 0,099 |
| | | 2,5 | 0,628 | 0,120 | 0,067 | 0,041 | 0,026 | 0,047 | 0,082 |
| | | 5 | 0,594 | 0,118 | 0,061 | 0,040 | 0,028 | 0,057 | 0,102 |
| | | 7,5 | 0,628 | 0,117 | 0,064 | 0,043 | 0,028 | 0,045 | 0,074 |
| | | 10 | 0,560 | 0,124 | 0,067 | 0,047 | 0,036 | 0,065 | 0,100 |

Quadro 17 - Proporção de agregados de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), separados por via úmida, amostrados na camada 0-20 e 20-40 cm, considerando a dose de dois compostos orgânicos, ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE), aplicada

| Solo | Composto Orgânico | Dose | Classe de Agregados (mm) | | | | | |
|--|-------------------|--------------------|--------------------------|---------|---------|----------|------------|--------|
| | | | 4,0-2,0 | 2,0-1,0 | 1,0-0,5 | 0,5-0,25 | 0,25-0,105 | <0,105 |
| | | g kg ⁻¹ | kg kg ⁻¹ | | | | | |
| Profundidade de amostragem 0-20 cm | | | | | | | | |
| RY1 | AH | 0 | 0,007 | 0,092 | 0,220 | 0,228 | 0,217 | 0,237 |
| | | 2,5 | 0,003 | 0,075 | 0,156 | 0,280 | 0,235 | 0,252 |
| | | 5 | 0,001 | 0,080 | 0,220 | 0,237 | 0,220 | 0,242 |
| | | 7,5 | 0,007 | 0,094 | 0,188 | 0,175 | 0,234 | 0,301 |
| | | 10 | 0,012 | 0,094 | 0,241 | 0,197 | 0,211 | 0,246 |
| | AE | 0 | 0,000 | 0,088 | 0,120 | 0,223 | 0,256 | 0,312 |
| | | 2,5 | 0,021 | 0,115 | 0,205 | 0,208 | 0,207 | 0,256 |
| | | 5 | 0,036 | 0,149 | 0,279 | 0,184 | 0,117 | 0,235 |
| | | 7,5 | 0,052 | 0,215 | 0,211 | 0,110 | 0,137 | 0,275 |
| | | 10 | 0,138 | 0,215 | 0,144 | 0,156 | 0,099 | 0,247 |
| RY2 | AH | 0 | 0,014 | 0,066 | 0,140 | 0,083 | 0,095 | 0,602 |
| | | 2,5 | 0,058 | 0,080 | 0,106 | 0,100 | 0,086 | 0,571 |
| | | 5 | 0,056 | 0,078 | 0,181 | 0,202 | 0,088 | 0,395 |
| | | 7,5 | 0,073 | 0,087 | 0,095 | 0,098 | 0,132 | 0,515 |
| | | 10 | 0,081 | 0,080 | 0,092 | 0,110 | 0,120 | 0,517 |
| | AE | 0 | 0,010 | 0,056 | 0,082 | 0,112 | 0,142 | 0,598 |
| | | 2,5 | 0,186 | 0,111 | 0,077 | 0,066 | 0,093 | 0,466 |
| | | 5 | 0,209 | 0,128 | 0,059 | 0,050 | 0,074 | 0,479 |
| | | 7,5 | 0,302 | 0,136 | 0,043 | 0,035 | 0,051 | 0,432 |
| | | 10 | 0,365 | 0,135 | 0,037 | 0,024 | 0,036 | 0,402 |
| Profundidade de amostragem 20-40 cm | | | | | | | | |
| RY1 | AH | 0 | 0,002 | 0,059 | 0,135 | 0,203 | 0,287 | 0,314 |
| | | 2,5 | 0,002 | 0,056 | 0,142 | 0,184 | 0,315 | 0,301 |
| | | 5 | 0,005 | 0,081 | 0,193 | 0,181 | 0,239 | 0,302 |
| | | 7,5 | 0,000 | 0,087 | 0,104 | 0,161 | 0,298 | 0,350 |
| | | 10 | 0,012 | 0,074 | 0,108 | 0,210 | 0,287 | 0,309 |
| | AE | 0 | 0,000 | 0,073 | 0,133 | 0,222 | 0,259 | 0,313 |
| | | 2,5 | 0,007 | 0,089 | 0,196 | 0,179 | 0,229 | 0,301 |
| | | 5 | 0,018 | 0,129 | 0,161 | 0,158 | 0,230 | 0,304 |
| | | 7,5 | 0,024 | 0,090 | 0,123 | 0,159 | 0,264 | 0,339 |
| | | 10 | 0,020 | 0,118 | 0,149 | 0,140 | 0,240 | 0,333 |
| RY2 | AH | 0 | 0,000 | 0,024 | 0,040 | 0,061 | 0,108 | 0,766 |
| | | 2,5 | 0,000 | 0,021 | 0,039 | 0,047 | 0,097 | 0,796 |
| | | 5 | 0,000 | 0,020 | 0,039 | 0,055 | 0,104 | 0,781 |
| | | 7,5 | 0,000 | 0,023 | 0,039 | 0,047 | 0,103 | 0,789 |
| | | 10 | 0,000 | 0,021 | 0,041 | 0,053 | 0,104 | 0,782 |
| | AE | 0 | 0,000 | 0,019 | 0,037 | 0,048 | 0,107 | 0,789 |
| | | 2,5 | 0,011 | 0,037 | 0,044 | 0,048 | 0,103 | 0,757 |
| | | 5 | 0,041 | 0,048 | 0,044 | 0,041 | 0,090 | 0,736 |
| | | 7,5 | 0,166 | 0,044 | 0,040 | 0,035 | 0,077 | 0,638 |
| | | 10 | 0,039 | 0,065 | 0,052 | 0,046 | 0,090 | 0,709 |

Quando se consideram os diâmetros médios DMP e DMG obtidos para a camada superficial avaliada (Quadro 18), as diferenças proporcionadas entre os compostos orgânicos indicaram que a adição do ácido esteárico proporciona maiores valores médios desses índices do que a do AH apenas nas estimativas que se seguiram à separação por via úmida para os dois solos, à exceção do DMG do solo RY1. Isto mais uma vez destaca o potencial do ácido esteárico na formação mais efetiva de agregados estáveis em solos.

Para os valores das variáveis ADA e EU não se verificaram diferenças estatísticas entre os compostos orgânicos aplicados. Na comparação entre os dois solos, verificou-se superioridade dos índices de agregação, da dispersão de argila e do equivalente de umidade no solo afetado por sais (RY2). Discussões prévias no ensaio do efeito do tempo de incubação já indicaram os motivos pelos quais esses resultados foram obtidos. O índice DMG via úmida não seguiu a tendência previamente comentada, e indicou maiores valores de agregação média para o solo RY1.

Na camada subsuperficial estudada (Quadro 18), a superioridade do ácido esteárico em termos de valores médios dos índices de agregação ficou restrita principalmente ao solo salino-sódico (RY2). Novamente não se verificaram diferenças entre os valores médios de ADA e EU obtidos com os dois compostos orgânicos adicionados. Na comparação entre solos, das variáveis avaliadas, apenas os índices de agregação estimados após separação por via úmida apresentaram maiores valores no solo RY1.

Quadro 18 - Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados separados por via seca e por via úmida, argila dispersa em água (ADA) e equivalente de umidade (EU) de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados na camada 0-20 cm e 20-40 cm, considerando a média das doses de dois compostos orgânicos, ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE), após 150 dias de incubação

| Solo ⁽¹⁾ | Composto Orgânico ⁽²⁾ | Via Seca | | Via Úmida | | ADA | EU |
|--------------------------------|----------------------------------|----------|--------|-----------|--------|---------------------|---------|
| | | DMP | DMG | DMP | DMG | | |
| | | mm | | | | kg kg ⁻¹ | |
| Profundidade de 0-20cm | | | | | | | |
| RY1 | AH Média | 0,46 a | 0,22 a | 0,44 b | 0,26 a | 0,063 a | 0,110 a |
| | AE Média | 0,70 a | 0,30 a | 0,61 a | 0,32 a | 0,064 a | 0,112 a |
| | Média Geral | 0,58 B | 0,26 B | 0,52 B | 0,29 A | 0,064 B | 0,111 B |
| RY2 | AH Média | 3,78 a | 1,70 a | 0,47 b | 0,18 b | 0,104 a | 0,238 a |
| | AE Média | 3,82 a | 1,74 a | 0,92 a | 0,29 a | 0,103 a | 0,232 a |
| | Média Geral | 3,80 A | 1,72 A | 0,69 A | 0,23 B | 0,104 A | 0,235 A |
| Profundidade de 20-40cm | | | | | | | |
| RY1 | AH Média | 0,93 b | 0,32 a | 0,41 a | 0,22 a | 0,075 a | 0,126 a |
| | AE Média | 1,21 a | 0,44 a | 0,43 a | 0,22 a | 0,078 a | 0,120 a |
| | Média Geral | 1,07 B | 0,38 B | 0,42 A | 0,22 A | 0,076 B | 0,123 B |
| RY2 | AH Média | 4,15 b | 2,01 b | 0,14 b | 0,08 a | 0,230 a | 0,221 a |
| | AE Média | 4,56 a | 2,51 a | 0,32 a | 0,11 a | 0,234 a | 0,233 a |
| | Média Geral | 4,35 A | 2,26 A | 0,23 B | 0,09B | 0,232 A | 0,227 A |

⁽¹⁾ Letras maiúsculas diferentes na média geral indicam diferença para solo a 5% pelo teste F.

⁽²⁾ Letras minúsculas diferentes na média, dentro de cada solo, indicam diferença para composto orgânico a 5% pelo teste F.

O efeito da aplicação dos compostos orgânicos pode ser mais facilmente visualizado nos gráficos que relacionam as doses aplicadas e a resposta das variáveis físicas avaliadas (Figuras 1 e 2).

No solo não afetado por sais (RY1), efeitos significativos da aplicação das doses dos compostos orgânicos com incrementos nos índices de agregação foram obtidos com a adição do ácido esteárico na camada de 0 a 20 cm de profundidade (Figura 1), como já indicavam a análise de alguns dados anteriores. À aplicação do AH foi associada ausência de efeito ou mesmo uma pequena redução nos índices de agregação. O efeito positivo da adição do ácido esteárico na formação e estabilização dos agregados não corrobora com os dados obtidos por Bastos et al. (2005), que trabalharam com solos argilosos, para estes autores, o efeito foi mais acentuado para o ácido húmico.

A aplicação dos dois compostos no solo RY1 não alterou a dinâmica da dispersão de argilas e nem a retenção de água do solo, conforme avaliação segundo as variáveis ADA e EU, respectivamente. O efeito significativo associado à aplicação de doses do ácido esteárico incrementando os valores de ADA na primeira camada deve ser tomado com ressalvas, dada à grande proximidade dos dados obtidos que indicam, em termos práticos, mais uma similaridade do que um incremento nos valores.

No solo afetado por sais (Figura 2), o efeito da adição do ácido esteárico no incremento dos índices de agregação também foi mais evidente na primeira camada avaliada, mas somente na estimativa efetuada após a separação por via úmida. Mais uma vez destaca-se o potencial desse composto orgânico que levou à obtenção de agregados mais estáveis após o período de incubação considerado, quase que triplicando o valor do diâmetro médio na maior dose aplicada. Os efeitos da adição do ácido húmico foram menos efetivos e uma redução da agregação nas maiores doses também foi diagnosticada. Os efeitos da aplicação das doses dos compostos orgânicos sobre a ADA e o EU também foram poucos expressivos, sendo possíveis diferenças significativas encontradas pouco válidas sob o ponto de vista prático.

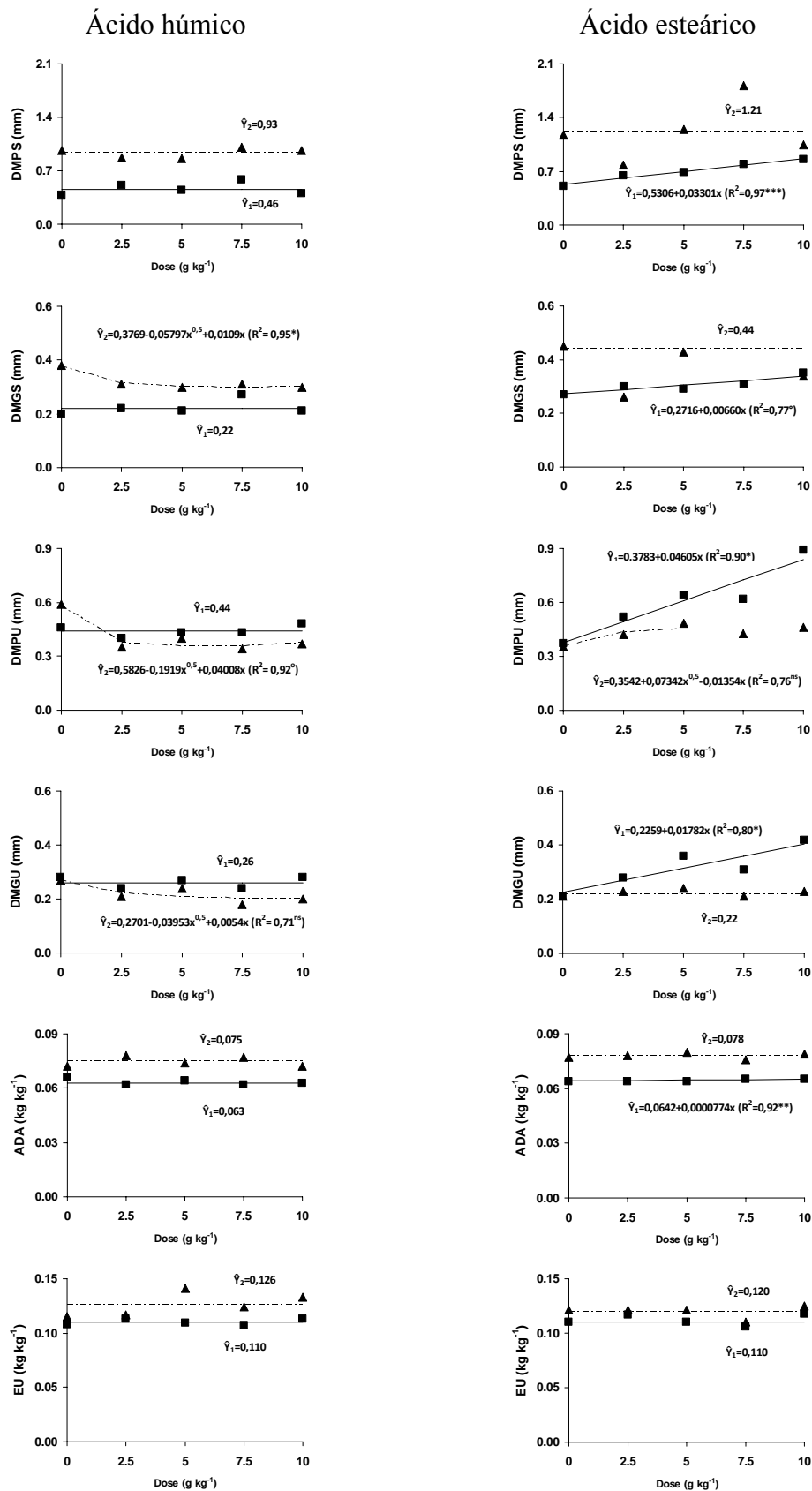


Figura 1 – Resposta das características físicas do solo em função da aplicação de doses crescentes de dois compostos orgânicos (ácido húmico e ácido esteárico) para as profundidades de 0 a 20 cm (—■—, Y_1) e de 20 a 40 cm (--▲--, Y_2) de um Neossolo Flúvico (RY1).

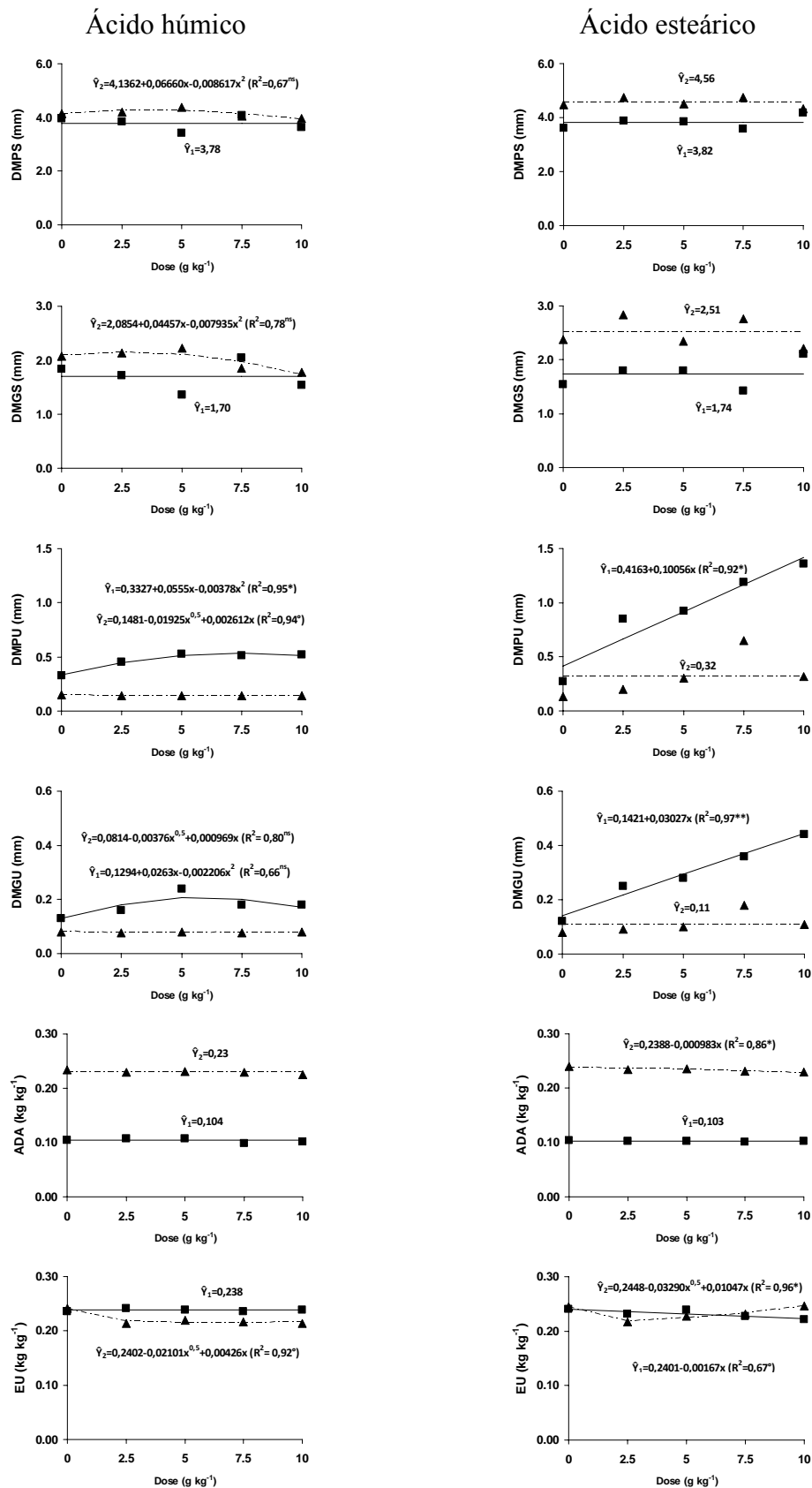


Figura 2 – Resposta das características físicas do solo em função da aplicação de doses crescentes de dois compostos orgânicos (ácido húmico e ácido esteárico) para as profundidades de 0 a 20 cm (—■—, Y₁) e de 20 a 40 cm (--▲--, Y₂) de um Neossolo Flúvico salino-sódico (RY2).

4.2.2. Características do extrato solo:água

Os dados obtidos na análise do extrato solo-água na relação 1:5 das amostras provenientes da camada de 0 a 20 cm de profundidade do solo RY1 indicaram haver diferenças de efeitos dos compostos orgânicos adicionados, à exceção do Na (Quadro 19). A adição do AH levou à obtenção de maiores valores de CE, Mg e K se comparada à aplicação de ácido esteárico. Situação oposta foi verificada para o pH.

Os incrementos mais expressivos de CE no extrato com o aumento das doses aplicadas pode ser relacionado à própria contribuição do material orgânico. Ensaio posteriores ao procedimento experimental no AH aplicado, utilizando-se a mesma relação 1:5, revelaram uma CE de 9,92 dS m⁻¹. Os incrementos de Ca, Mg, e também de Na nos dois solos analisados com a aplicação do AH também podem ser associados aos teores presentes no vermicomposto. Na preparação deste composto orgânico a partir do vermicomposto, especial atenção foi colocada no procedimento de purificação, entretanto, os esforços despendidos não foram suficientes para livrar o produto final obtido da presença de sais.

No solo salino-sódico (RY2), os problemas com o AH adicionado também levaram a maiores teores de Ca, Mg e Na, além de uma maior CE nos extratos obtidos após a aplicação desse composto orgânico. A comparação entre os valores médios das variáveis obtidas para os dois solos evidenciam mais uma vez a natureza dos solos e a influencia dos sais na constituição química do extrato solo:água.

Na camada subsuperficial avaliada (Quadro 19), a presença de sais no AH aplicado também determinou os resultados verificados na comparação entre compostos orgânicos aplicados nos dois solos. A comparação entre médias dos valores das variáveis obtidos entre os dois solos também é facilmente explicada pela natureza diferenciada dos mesmos.

Quadro 19 – Valores de pH, condutividade elétrica (CE), concentração de Ca, Mg, Na e K e relação de adsorção de sódio (RAS) no extrato 1:5 de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados na camada 0-20 cm e 20-40 cm, considerando a média das doses de dois compostos orgânicos, ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE), após 150 dias de incubação

| Solo ⁽¹⁾ | Composto Orgânico ⁽²⁾ | pH | CE | Ca | Mg | Na | K | RAS |
|--------------------------------|----------------------------------|-------|-----------------------|-------------------------------|-------|--------|-------|---------------------------------------|
| | | | $\mu\text{S cm}^{-1}$ | $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ | | | | $(\text{mmol}_c \text{L}^{-1})^{0,5}$ |
| Profundidade de 0-20cm | | | | | | | | |
| RY1 | AH Média | 5,81b | 298,73a | 0,61a | 0,64a | 0,86a | 0,24a | 1,14b |
| | AE Média | 6,42a | 138,25b | 0,14b | 0,21b | 0,73a | 0,16b | 1,88a |
| | Média Geral | 6,11A | 218,49B | 0,37 B | 0,42B | 0,7B | 0,20B | 1,51B |
| RY2 | AH Média | 5,40a | 1732,00a | 4,67a | 2,66a | 7,81a | 0,30a | 4,08a |
| | AE Média | 5,44a | 1565,33b | 3,94b | 2,24b | 7,23b | 0,27a | 4,13a |
| | Média Geral | 5,42B | 1648,67A | 4,31A | 2,45A | 7,5A | 0,28A | 4,10A |
| Profundidade de 20-40cm | | | | | | | | |
| RY1 | AH Média | 5,93b | 236,10a | 0,45a | 0,47a | 0,79a | 0,15a | 1,21a |
| | AE Média | 6,47a | 117,12b | 0,17b | 0,21b | 0,66a | 0,12a | 1,70a |
| | Média Geral | 6,20B | 176,61B | 0,31A | 0,34A | 0,73B | 0,14B | 1,46B |
| RY2 | AH Média | 6,26b | 1414,80a | 0,68a | 0,45a | 13,04a | 1,65a | 19,38b |
| | AE Média | 6,55a | 1317,33b | 0,45b | 0,32b | 12,00b | 1,14a | 22,88a |
| | Média Geral | 6,40A | 1366,1A | 0,56A | 0,39A | 12,5A | 1,40A | 21,13A |

⁽¹⁾ Letras maiúsculas diferentes na média geral indicam diferença para solo a 5% pelo teste F.

⁽²⁾ Letras minúsculas diferentes na média, dentro de cada solo, indicam diferença para composto orgânico a 5% pelo teste F.

Para fins de facilitação da discussão dos resultados obtidos, a resposta das variáveis analisadas no extrato solo:água dos dois solos à aplicação das doses crescentes dos compostos orgânicos é apresentada nas Figuras 3 e 4.

O incremento significativo na CE, Na e Ca no solo RY1 com a adição de doses crescentes do AH (Figura 3) confirma a observação prévia e o efeito da presença de sais nesse composto orgânico. Mesmo com essa contribuição, Não houve alteração nos valores de RAS. Por sua vez, à aplicação de doses crescentes de ácido esteárico foi associada uma pequena, mas significativa redução nos valores de CE. Os valores de pH praticamente não se alteraram com a adição das doses dos compostos orgânicos, ainda que alguma diferença estatística tenha sido observada. As amostras das duas profundidades desse solo não apresentaram grande diferenciação em termos de valores obtidos para as variáveis analisadas, indicando uma certa similaridade dos materiais de solo no perfil.

No solo afetado por sais (Figura 4), o efeito do AH sobre a CE e os teores de Na do extrato foi menos expressivo, dada a maior salinidade original desse solo. Ainda assim, incrementos significativos dessa variável foram verificados com o aumento das doses de AH. Com o ácido esteárico uma leve mas significativa redução da CE foi identificada na camada de 0 a 20 cm de profundidade.

Assim como no solo RY1, as alterações no pH foram pouco expressivas, ainda que alguma diferença significativa tenha sido diagnosticada. Efeito significativo mais pronunciado sobre os cátions somente foi verificado para o K com a adição de doses crescentes de ácido esteárico, que causaram um decréscimo nos teores obtidos no extrato. Decréscimo semelhante, mas menos expressivo, também foi verificado nos teores de Ca após a aplicação desse mesmo composto orgânico.

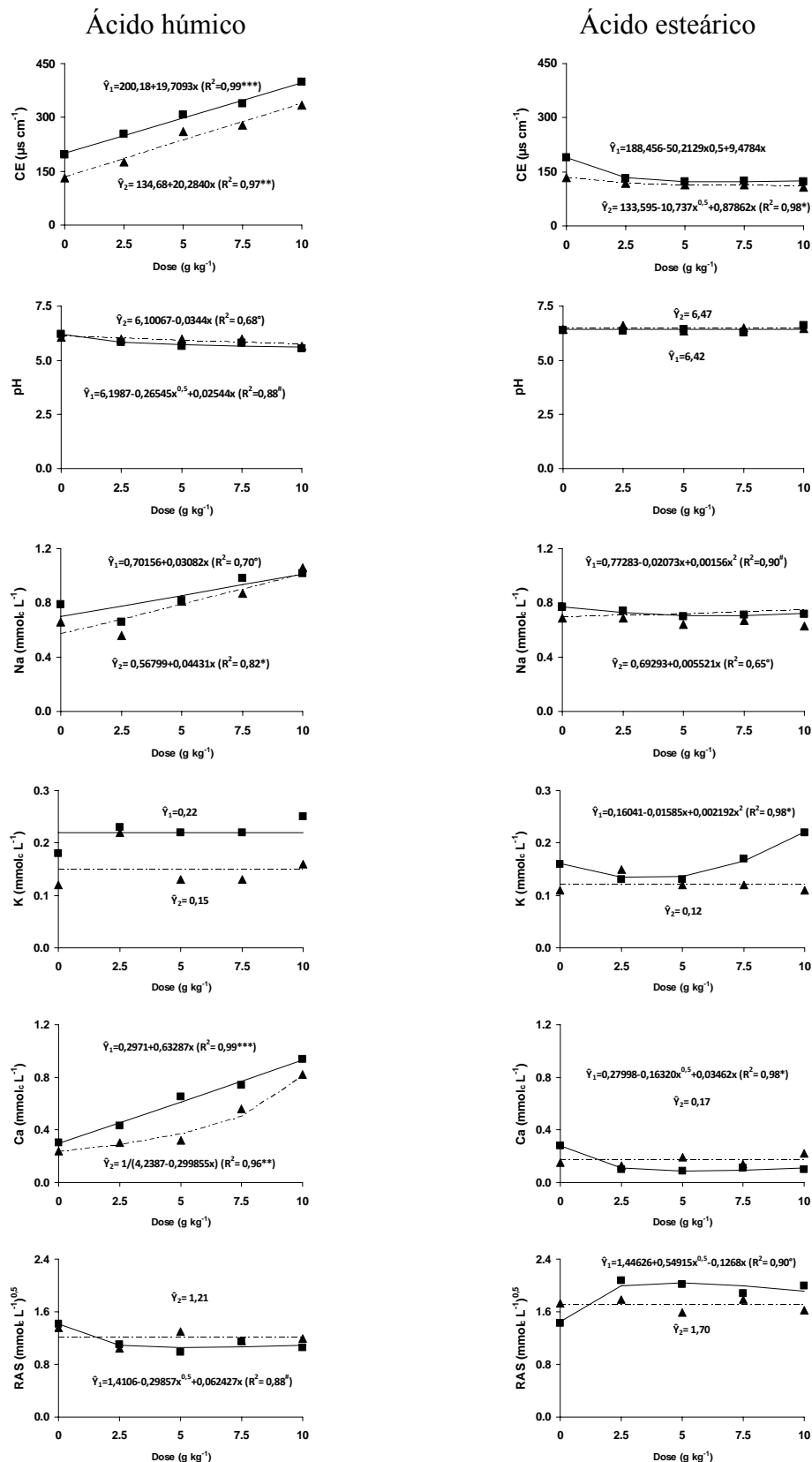


Figura 3 – Resposta das características do extrato solo-água 1:5 em função da aplicação de doses crescentes de dois compostos orgânicos (ácido húmico e ácido esteárico) para as profundidades de 0 a 20 cm (—■—, Y_1) e de 20 a 40 cm (-▲-, Y_2) de um Neossolo Flúvico (RY1).

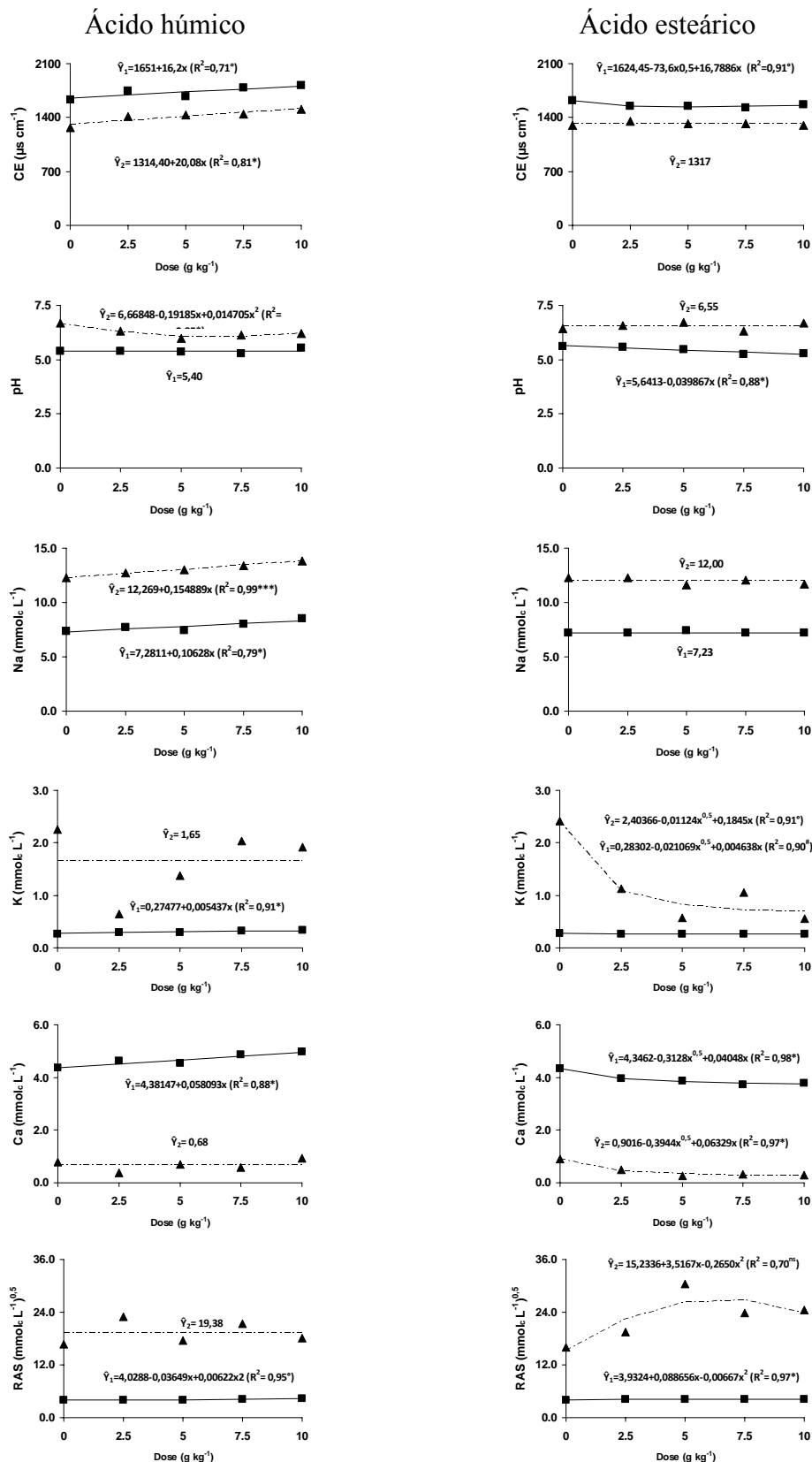


Figura 4 – Resposta das características do extrato solo-água 1:5 em função da aplicação de doses crescentes de dois compostos orgânicos (ácido húmico e ácido esteárico) para as profundidades de 0 a 20 cm (—■—, Y_1) e de 20 a 40 cm (-▲-, Y_2) de um Neossolo Flúvico salino-sódico (RY2).

4.2.3. Características químicas

A análise química das amostras da camada superficial do solo não afetado por sais (RY1) indicou não haver diferenças de efeitos dos compostos orgânicos adicionados nas variáveis analisadas (Quadro 20). Somente para o Mg verificou-se uma superioridade de teores médios com a adição do AH. Os dados sugerem que a presença de sais no ácido húmico que comprometeu os resultados obtidos no extrato solo:água praticamente pouco influenciou os teores de cátions trocáveis no solo. No caso do solo salino-sódico (RY2), à aplicação de doses crescentes de ácido húmico foram associados maior valor de CTC e menor Na e PST, na comparação com a adição das doses de ácido esteárico.

Na comparação entre solos, as diferenças significativas verificadas são novamente associadas à natureza dos mesmos, com o solo afetado por sais (RY2) apresentando maiores valores de CTC e PST, e maiores teores de Ca, Mg, Na e K. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Reichert et al. (2006), os quais afirmam que apesar de o Na possuir característica dispersante, a correlação significativa pode ser explicado pelo motivo de que solos com alto teor desse elemento apresentam também uma maior concentração de outros cátions trocáveis (di e trivalentes), podendo estes atuarem mais fortemente na agregação do solo e, possivelmente, superando o efeito do Na.

Como também verificado no primeiro experimento que avaliou o efeito do tempo de incubação, ao final dos 150 dias de incubação com os compostos orgânicos no solo, o solo salino-sódico (RY2) tem seus valores de PST reduzidos abaixo dos 15%, alterando desta forma sua classificação, deixando, desta forma, de ser enquadrado como um solo afetado por sais. Entretanto, a comparação dos tratamentos que receberam doses dos compostos orgânicos e a testemunha indica pouco ou nenhum efeito da aplicação do material orgânico sobre essa variável. Além disto, a comparação da testemunha e o solo original (Quadro 1) revela uma diferença muito expressiva. Como a incubação foi promovida em sacos plásticos, portanto em um sistema fechado, a água destilada utilizada no umedecimento das amostras não pode explicar a possível redução da PST desse solo. Uma explicação para isto pode ser atribuída à presença de carbonato de cálcio nesse solo, o qual pode durante o período de incubação ter liberado Ca no sistema. Embora não esperados, resultados como esse já foram encontrados por Gomes et al. (2000), que verificaram redução da PST no tratamento testemunha, sem a presença ou adição de qualquer condicionador.

Na camada de 20 a 40 cm de profundidade, a aplicação de doses crescentes de ácido húmico incrementou apenas os teores de Ca e Mg no solo RY1, na comparação com a aplicação do ácido esteárico. No solo RY2, esse efeito do ácido húmico somente foi verificada para o Ca. Na comparação entre solos, novamente a natureza dos solos determina as diferenças significativas observadas, sendo mantido o mesmo padrão verificado na camada superficial.

O valor de PST nessa camada no solo afetado por sais (RY2) é bastante expressivo, dada a maior contribuição do Na no complexo de troca. No caso dessa profundidade, o caráter salino-sódico do solo fica bem evidente.

Quadro 20 - Capacidade de troca catiônica (CTC), teores de Ca, Mg, Na e K trocáveis e percentagem de saturação de sódio (PST) de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados na camada 0-20 cm e 20-40 cm, considerando a média das doses de dois compostos orgânicos, ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE), após 150 dias de incubação

| Solo ⁽¹⁾ | Composto Orgânico ⁽²⁾ | CTC | Ca | Mg | Na | K | PST |
|---------------------------------|----------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | | | | | | |
| Profundidade de 0-20 cm | | | | | | | |
| RY1 | AH Média | 10,64a | 5,32a | 3,21a | 0,53a | 0,47a | 5,0b |
| | AE Média | 9,86a | 5,23a | 2,97b | 0,56a | 0,47a | 5,7a |
| | Média Geral | 10,25B | 5,28B | 3,09B | 0,54B | 0,47B | 5,3B |
| RY2 | AH Média | 18,52a | 9,13a | 3,55a | 1,60b | 0,73a | 8,7b |
| | AE Média | 17,45b | 9,22a | 3,62a | 1,70a | 0,70a | 9,8a |
| | Média Geral | 17,99A | 9,17A | 3,59A | 1,65A | 0,72A | 9,3A |
| Profundidade de 20-40 cm | | | | | | | |
| RY1 | AH Média | 11,63a | 5,99a | 3,35a | 0,59a | 0,34a | 5,1a |
| | AE Média | 10,88a | 5,80b | 3,18b | 0,57a | 0,32a | 5,2a |
| | Média Geral | 11,26B | 5,89A | 3,27A | 0,58B | 0,33A | 5,1B |
| RY2 | AH Média | 18,16a | 5,82a | 2,44a | 5,75a | 0,17a | 31,9a |
| | AE Média | 18,14a | 5,57b | 2,38a | 5,70a | 0,16a | 31,7a |
| | Média Geral | 18,15A | 5,69B | 2,41B | 5,73A | 0,16B | 31,79A |

⁽¹⁾ Letras maiúsculas diferentes na média geral indicam diferença para solo a 5% pelo teste F.

⁽²⁾ Letras minúsculas diferentes na média, dentro de cada solo, indicam diferença para composto orgânico a 5% pelo teste F.

Os gráficos correspondentes às Figuras 5 e 6 apresentam a resposta das variáveis químicas do solo à aplicação das doses crescentes dos compostos orgânicos testados. No caso do solo RY1 (Figura 5), o aumento das doses de ácido húmico proporciona incremento pequeno, mas significativo, na CTC do solo, o que parece estar diretamente associado aos incrementos também significativos nos teores de Na. À presença de sais neste material orgânico, como já indicado, é atribuída tal constatação. Mesmo com os incrementos significativos verificados nas duas profundidades para os teores de Na trocável, os valores de PST não se modificaram com o aumento das doses. A adição de ácido esteárico praticamente pouco afeta as características químicas avaliadas, ainda que algumas diferenças significativas tenham sido verificadas com o incremento das doses aplicadas.

No solo salino-sódico (RY2), o efeito da presença de sais no ácido húmico utilizado foi menos expressivo, embora tenha levado à obtenção de incremento significativo da CTC desse solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade (Figura 6). Entretanto, tal incremento foi pouco expressivo em termos práticos, além do que esse mesmo composto orgânico proporcionou uma redução dos teores de Ca e Mg trocáveis nessa mesma camada para a maior dose aplicada, sem que alterações significativas tenham sido observadas para os teores de Na e K. A adição de ácido esteárico pouco afetou as variáveis químicas avaliadas, sendo que efeitos significativos com o incremento das doses, porém pouco expressivos, apenas verificado para os teores de Ca e Na.

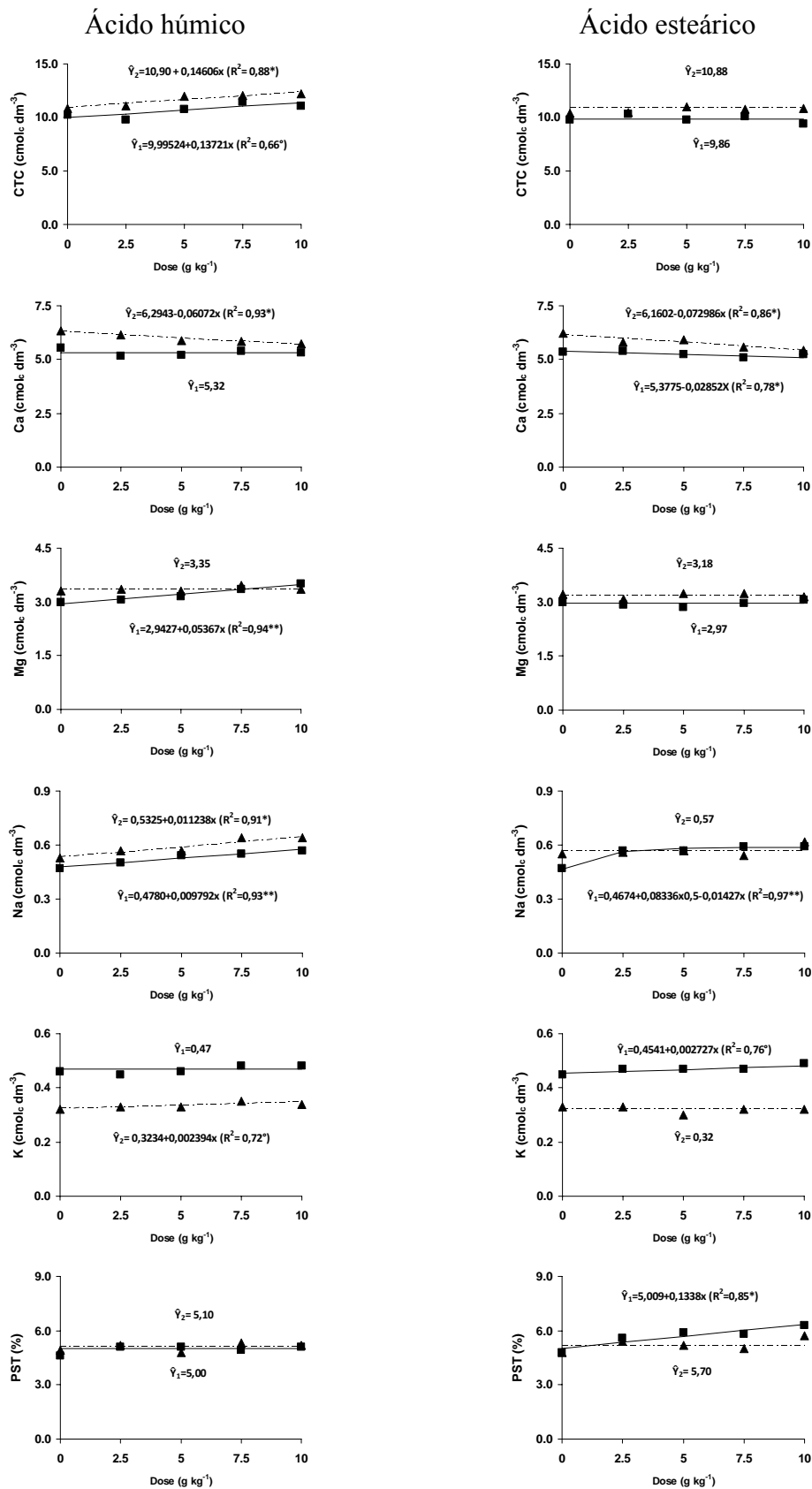


Figura 5 – Resposta das características químicas do solo em função da aplicação de doses crescentes de dois compostos orgânicos (ácido húmico e ácido esteárico) para as profundidades de 0 a 20 cm (—■—, Y₁) e de 20 a 40 cm (-▲-, Y₂) de um Neossolo Flúvico (RY1).

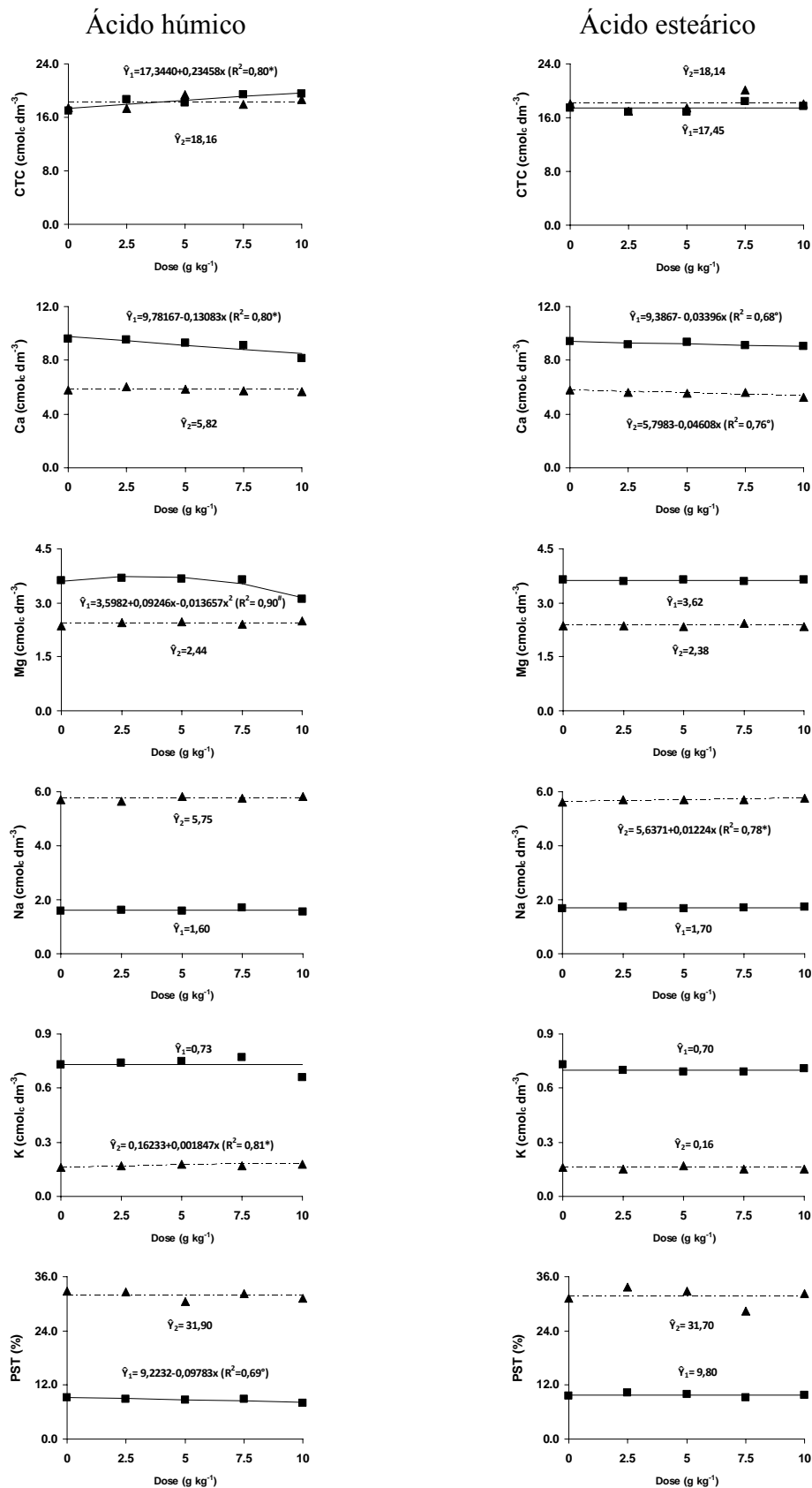


Figura 6 – Resposta das características químicas do solo em função da aplicação de doses crescentes de dois compostos orgânicos (ácido húmico e ácido esteárico) para as profundidades de 0 a 20 cm (—■—, Y₁) e de 20 a 40 cm (-▲-, Y₂) de um Neossolo Flúvico salino-sódico (RY2).

4.2.4. Grau de repelência à água

Assim como verificado no experimento relativo à avaliação do efeito do tempo de incubação, o incremento das doses dos compostos orgânicos não promoveu a obtenção de diferenças no grau de repelência à água nas duas camadas dos dois solos avaliados. Todas as amostras novamente se mostraram não repelentes.

Novamente a discussão acerca das doses e do tempo de incubação promovida para o experimento anterior podem ser utilizadas para explicar os resultados obtidos. Ainda que no presente ensaio tenham sido aplicadas duas doses (7,5 e 10,0 g kg⁻¹) maiores que a adicionada no experimento I, diferenças significativas não foram diagnosticadas.

5. Conclusões

A partir dos resultados obtidos, podem ser indicadas as seguintes conclusões e considerações finais:

Na avaliação do tempo de incubação, os resultados obtidos indicaram efeito positivo com o aumento do período de incubação dos solos com os materiais orgânicos sobre a gênese e incremento do diâmetro médio dos agregados, principalmente considerando o maior tempo utilizado (150 dias).

Na comparação entre compostos orgânicos utilizados, os resultados foram mais expressivos quando se utilizou o ácido esteárico. Quando a comparação foi entre solos, os efeitos positivos foram mais pronunciados no solo salino-sódico.

Os resultados obtidos no extrato solo:água foram comprometidos pela presença de sais no ácido húmico utilizado, que promoveu o incremento da condutividade elétrica e de alguns cátions solúveis, em especial o Na. Entretanto, mesmo com essa contribuição, poucas foram as alterações significativas verificadas em decorrência do aumento do tempo de incubação dos compostos orgânicos aplicados nas variáveis mensuradas no extrato.

O aumento das doses dos compostos orgânicos influenciou positivamente a formação e o diâmetro médio dos agregados dos solos avaliados, principalmente na camada de 0 a 20 cm de profundidade. O ácido esteárico mais uma vez foi mais efetivo sobre a agregação dos solos do que o ácido húmico.

Nas características químicas dos solos, o incremento das doses de ácido húmico afetou algumas das variáveis mensuradas no solo não afetado por sais, estando mais relacionado à presença prévia de sais no material orgânico. A adição de ácido esteárico praticamente não afetou as características químicas avaliadas nos dois solos.

A aplicação do ácido esteárico, composto mais hidrofóbico, favoreceu a agregação de solos, com potencial que merece ser avaliado em condições de campo para solos afetados por sais, dados os problemas de ordem física presentes nesses solos.

O efeito da adição de compostos orgânicos foi mais expressivo sobre as características físicas do que sobre as características químicas dos solos e do extrato solo:solução.

Doses mais elevadas dos compostos orgânicos devem ser testadas em experimentos futuros, uma vez que as selecionadas para o presente estudo, tomadas a partir de trabalhos efetuados com solos não afetados por sais e argilosos, demonstraram um potencial que merece ser melhor explorado.

Destaca-se mais uma vez o importante papel da matéria orgânica na garantia da qualidade física estrutural dos solos, com potencial ainda pouco explorado no que se refere aos seus efeitos em solos afetados por sais.

6. Referências Bibliográficas

- BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H. & CORRÊA, M.M. Formação e estabilização de agregados do solo decorrentes da adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. R. Bras.Ci. Solo, v.29, p.11-20, 2005.
- BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H.; CORRÊA, M.M.; COSTA, L.M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. R. Bras.Ci. Solo, v.29, p.21-31, 2005.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. Scientia Agricola, v.58, n.3, p.555-560, 2001.
- BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. Geoderma, v. 124, p. 3-22, 2005.
- CHANEY, K. & SWIFT, R.S. Studies on aggregate stability of re-formed soil aggregates. J. Soil Sci., 37:337-343, 1986b.
- CORRÊA, J.C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. Pesq. Agropec. Bras., v.37, n.2, p.203-209, 2002.
- DEGENS, B.P. Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: a review. Aust. J. Soil Res. v.35, p.431-459, 1997.
- DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. Soil Till. Res., v.11, p.199-238, 1988.
- DNOCS - Departamento de Obras Contra as Secas. Estudos párea a avaliação da disponibilidade hídrica do Açude Público Cachoeira II – Município de Serra Talhada – PE Relatório apresentado ao DNOCS. 1999.
- DUFRANC, G.; DECHEN, S.C.F; FREITAS, S.S.; CAMARGO, O.A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. R. Bras.Ci. Solo, v.28, p.505-517, 2004.
- EMBRAPA.- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- FREIRE, M.B.G. S.; FREIRE, F.J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (eds.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, p. 929-954, 2007.
- FREIRE, M.B.G.S; RUIZ, H.A.; RIBEIRO, M.R.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ V. V.H.; FREIRE, F.J. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. Rev. Bras. Eng. Agric. Ambiental, v.7, n.1, p.45-52, 2003.

- GOMES, E.M.; GHEYI, H.R.; SILVA, E.F.F. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. R. Bras. Eng. Agric. Ambiental, v.4, n.3, p.355-361, 2000.
- GUEDES, I. M. R. Agregação de amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo em resposta a aplicação de alcatrão vegetal. Viçosa: UFV, 2002. 44p. (Dissertação de Mestrado).
- GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (eds.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Metropole, p.19-26, 2008.
- HAYES, M.H. & MALCOLM, R.L. Considerations of compositions and of aspects of the structures of humic substances and chemical contaminants. Madison, Soil Science Society of America, 750p.,2001.
- HAYNES, R. J. e SWIFT, R. S. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. J. Soil Sci., 41:73-83, 1990.
- HILLEL, D. Fundamentals of soil physics. New York: Academic Pres, 1980. 413p.
- HOLANDA, J.S.; VITTI, G.C.; SALVIANO, A.A.C.; MEDEIROS, J.D.F.; AMORIM, J.R.A. Alterações nas propriedades químicas de um solo aluvial salino-sódico decorrentes da subsolagem e do uso de condicionadores. R. Bras.Ci. Solo, v.22, n.3, p.387-394, 1998.
- INDA JUNIOR, A. V.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BOENI, M.; SALTON, J.C. & TONIN, A.T. Variáveis relacionadas à estabilidade de complexos organo-minerais em solos tropicais e subtropicais brasileiros. Cienc. Rural., vol.37, n.5, pp. 1301-1307. 2007.
- KAISER, K.; ZECH, W. Sorption of dissolved organic nitrogen by acid subsoil horizons and individual mineral phases. Eur. J. Soil Sci., v.51, p.403-411, 2000.
- KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C.A., (ed.). Methods of soil analysis. Madison: ASA, p.499-510, 1965
- KING, P.M. Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. Aust. J. Soil Res.,v.19, p.275-285, 1981.
- LE BISSONNAIS, Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. theory and methodology. Eur. J. Soil Sci., v.47, p.425-437, 1996.
- LETEY, J. Measurement of contact angle, water drop penetration time and critical surface tension. In: Proceedings, SYMPOSIUM ON WATER-REPELLENT SOILS, Riverside, 1968., University of California, p.43-48, 1969.
- LIMA, C.L.R.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; SILVA, J.B. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, v.27, p.199-205, 2003.
- NAIDU, R.; SUMNER, M.E.; RENGASAMY, P. (eds.). Australian Sodic Soils - Distribution, Properties and Management. Melbourne: CSIRO, 1995, 351p..

- OADES, J.M. Soil Organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant Soil*, v.76, p.319-337, 1984.
- PEREIRA, J.R. Solos salinos e sódicos. In: Resumos expandidos. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, XV, Campinas, 1982: SBCS, p.127-143, 1983.
- PICCOLO, A.; MBAGWU, J.S.C. Role of hydrophobic components on soil organic matter in soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* v.63, p.1801-1810, 1999.
- REICHERT, J. M.; LIMA, C.L.R.; DALMOLIN, R.S.D.; REINERT, D.J.; GONÇAVES, C. & NUNES, M. Agregação de um planossolo sistematizado há um ano e sob o cultivo de arroz irrigado. *Ciência Rural*, v.36, n.003, p. 837-844. 2006
- RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: US Salinity Laboratory Staff, 1954. 160p. (Agriculture Handbook, 60).
- ROSSIELLO, R.O.; FERREIRA, W.A.; FERNANDES, M.S. Resposta de milho (*Zea mays* L.) à salinidade do solo induzida por aplicações de vinhaça: I. Produção de matéria seca e área foliar. *R. Bras. Ci. Solo*, v.5, n.3, p.171-175, 1981.
- RUIZ, H.A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30, 2005, Recife: SBCS, 2005a (CD-ROM).
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *R. Bras. Ci. Solo*, v.29, p.297-300, 2005b.
- RUIZ, H.O.; GHEYI, H.R.; ALMEIDA, M.T.; RIBEIRO, A.C. Torta de filtro e vinhaça na recuperação de um solo salino sódico e no desenvolvimento de arroz irrigado. *R. Bras. Ci. Solo*, v.21, p.659-665, 1997.
- SILVA FILHO, S.B.; CAVALCANTE, L.F.; OLIVEIRA, F. A.; LIMA, E. M. & COSTA, J.R.M. Monitoramento da qualidade da água e acúmulo de sais no solo pela irrigação. *Irriga, Botucatu*, v.5, n.2, p.112-115, 2000.
- SILVA JÚNIOR, L.G.A.; GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambiental*, v.3, n.1, p.11-17, 1999.
- SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; ROSA, J.D.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. *Rev. Bras. Ci. Solo*. v.30, n.2, p.329-337, 2006.
- SILVA, M.J. Efeito de diferentes métodos de recuperação num solo com problemas de sódio no Projeto de irrigação de São Gonçalo. PB. Viçosa: UFV, 1978. 54p. (Dissertação Mestrado).
- SILVEIRA, R.R. Recuperação de um solo afetado por sódio: Efeito do gesso e da incubação com vinhaça e água destilada. Areia: UFPB/CCA, 1999. 53p. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S. Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental. Brasília: EMBRAPA, 1994. 142p. (Documento, 45).
- SULLIVAN, L.A. Soil organic matter, air encapsulation and water stable aggregation. *J. Soil Sci.*, v.41, p.529-534, 1990.

- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS et al., eds. Methods of soils analysis part 3. Chemical methods. Madison, SSSA, 1996. p. 1011-1020.
- TILMAN, D. Global environmental impacts of agricultural expansion: the need for sustainable and efficient practices. Proceedings of the National Academy Science of the USA, v.96, p.5995-6000, 1999.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. J.Soil Sci., v.33, p.141-163, 1982.
- WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. Rev. Bras. Ci. Solo, v.28, n.5, p.891-900, 2004.
- YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M.. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Commun. Soil. Sci. Plant Anal., v.19, p.1467-1476, 1988.

7. Apêndice

Quadro 1A - Análise de variância do diâmetro médio ponderado (DMP) e do diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados separados por via seca e por via úmida, da argila dispersa em água (ADA) e do equivalente de umidade (EU) de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados a duas profundidades, considerando o tempo de incubação com dois compostos orgânicos (CO), ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE)

| Fonte de Variação | GL | Quadrado Médio | | | | | |
|--|----|----------------|--------|-----------|--------|---------|---------|
| | | Via Seca | | Via Úmida | | ADA | EU |
| | | DMP | DMG | DMP | DMG | | |
| Profundidade de amostragem 0-20 cm | | | | | | | |
| Blocos | 2 | 0,106 | 0,010 | 0,003 | 0,002 | 0,000 | 0,001* |
| Solos | 1 | 27,60* | 3,099* | 0,639* | 0,000 | 0,008* | 0,110* |
| CO d/Ry1 | 1 | 0,005 | 0,000 | 0,173* | 0,020 | 0,000 | 0,000 |
| CO d/Ry2 | 1 | 0,421 | 0,168 | 2,656* | 0,310* | 0,000 | 0,000 |
| Tempo d/AH d/Ry1 | 2 | 0,163 | 0,038 | 0,008 | 0,005 | 0,0003* | 0,000 |
| Tempo d/AE d/Ry1 | 2 | 0,159 | 0,023 | 0,018 | 0,000 | 0,0003* | 0,000 |
| Tempo d/AH d/Ry2 | 2 | 2,146* | 0,579* | 0,031 | 0,002 | 0,0001* | 0,000 |
| Tempo d/AE d/Ry2 | 2 | 1,942* | 1,048* | 0,904* | 0,194* | 0,0001* | 0,000 |
| Resíduo | 22 | 0,194 | 0,099 | 0,028 | 0,005 | 6,8E-06 | 0,000 |
| CV (%) | | 34,3 | 58,9 | 26,6 | 24,9 | 3,7 | 6,5 |
| Profundidade de amostragem 20-40 cm | | | | | | | |
| Blocos | 2 | 0,252* | 0,099 | 0,563 | 0,000 | 0,000 | 0,001 |
| Solos | 1 | 74,80* | 11,91* | 0,127* | 0,100* | 0,167* | 0,095* |
| CO d/Ry1 | 1 | 0,086 | 0,007 | 0,002 | 0,000 | 3,6E-05 | 0,000 |
| CO d/Ry2 | 1 | 0,099 | 0,046 | 0,218* | 0,005* | 3,5E-05 | 0,0010 |
| Tempo d/AH d/Ry1 | 2 | 0,083 | 0,018 | 0,008 | 0,003* | 0,0006* | 0,000 |
| Tempo d/AE d/Ry1 | 2 | 0,467* | 0,059 | 0,017* | 0,006* | 0,0003* | 0,000 |
| Tempo d/AH d/Ry2 | 2 | 0,702* | 0,471* | 0,000 | 0,000 | 0,002* | 0,0011 |
| Tempo d/AE d/Ry2 | 2 | 0,734* | 0,502* | 0,244* | 0,007* | 0,002* | 0,0014* |
| Resíduo | 22 | 0,071 | 0,036 | 0,003 | 0,0004 | 1,1E-05 | 0,0004 |
| CV (%) | | 13,1 | 21,9 | 18,7 | 14,1 | 2,5 | 11,7 |

*: Significativo a 5% pelo teste F.

Quadro 2A - Análise de variância do pH, da condutividade elétrica (CE), da concentração de Ca, Mg, Na e K e da relação de adsorção de sódio (RAS) no extrato 1:5 de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados a duas profundidades, considerando o tempo de incubação (T) com dois compostos orgânicos (CO), ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE)

| Fonte de Variação | GL | Quadrado Médio | | | | | | |
|--|----|----------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | pH | CE | Ca | Mg | Na | K | RAS |
| Profundidade de amostragem 0-20 cm | | | | | | | | |
| Blocos | 2 | 0,008 | 8659 | 0,130 | 0,070 | 0,064 | 0,010 | 39,56* |
| Solos | 1 | 11,91* | 0,2E+8* | 88,18* | 20,24* | 490,3* | 0,002 | 280,1* |
| CO d/R Y1 | 1 | 2,088* | 153181* | 0,381* | 0,042 | 0,302 | 0,002 | 5,708 |
| CO d/R Y2 | 1 | 0,001 | 149604* | 12,79* | 1,935* | 0,942* | 0,001 | 23,95 |
| Tempo d/AH d/R Y1 | 2 | 0,022 | 4554 | 0,249 | 0,232 | 0,078 | 0,003 | 55,89* |
| Tempo d/AE d/R Y1 | 2 | 0,029 | 445,3 | 0,078 | 0,069 | 0,013 | 0,008 | 13,30 |
| Tempo d/AH d/R Y2 | 2 | 0,125 | 152,4 | 1,657* | 0,289 | 0,198 | 0,005 | 0,222 |
| Tempo d/AE d/R Y2 | 2 | 0,099 | 7892 | 12,14* | 3,157* | 0,344 | 0,000 | 38,63* |
| Resíduo | 22 | 0,079 | 2842 | 0,074 | 0,089 | 0,195 | 0,003 | 5,647 |
| CV (%) | | 4,9 | 5,6 | 13,9 | 21,8 | 9,6 | 23,1 | 30,9 |
| Profundidade de amostragem 20-40 cm | | | | | | | | |
| Blocos | 2 | 0,010 | 2266 | 0,693 | 0,214 | 0,781 | 0,095 | 60,21* |
| Solos | 1 | 0,518* | 0,15E+8* | 0,303 | 0,036 | 1896* | 0,391* | 3,204 |
| CO d/R Y1 | 1 | 1,383* | 71127 | 2,342* | 0,950* | 0,298 | 0,003 | 0,001 |
| CO d/R Y2 | 1 | 0,000 | 53029 | 0,018 | 0,049 | 9,231* | 0,091 | 22,27 |
| Tempo d/AH d/R Y1 | 2 | 0,012 | 652,3 | 0,133 | 0,100 | 0,001 | 0,000 | 39,59* |
| Tempo d/AE d/R Y1 | 2 | 0,023 | 27033 | 0,452 | 0,142 | 3,109* | 0,210* | 10,38 |
| Tempo d/AH d/R Y2 | 2 | 0,023 | 27033 | 0,452 | 0,142 | 3,109* | 0,210* | 10,38 |
| Tempo d/AE d/R Y2 | 2 | 0,092 | 1398 | 0,656 | 0,285 | 2,412* | 0,257* | 92,76* |
| Resíduo | 22 | 0,053 | 17522 | 0,531 | 0,121 | 0,402 | 0,042 | 9,414 |
| CV (%) | | 3,6 | 16,0 | 107,0 | 47,3 | 7,8 | 76,6 | 28,8 |

*: Significativo a 5% pelo teste F.

Quadro 3A - Análise de variância da capacidade de troca catiônica (CTC), dos teores de Ca, Mg, Na e K trocáveis e da percentagem de saturação de sódio (PST) de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados a duas profundidades, considerando o tempo de incubação (T) com dois compostos orgânicos (CO), ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE)

| Fonte de Variação | GL | Quadrado Médio | | | | | |
|--|----|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | CTC | Ca | Mg | Na | K | PST |
| Profundidade de amostragem 0-20 cm | | | | | | | |
| Blocos | 2 | 0,784 | 0,112 | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 1,332 |
| Solos | 1 | 282,6* | 145,6* | 3,696* | 14,23* | 0,490* | 321,1* |
| CO d/R Y1 | 1 | 2,264 | 0,875* | 0,499* | 0,001 | 0,014* | 0,172 |
| CO d/R Y2 | 1 | 0,090 | 0,018 | 0,039 | 0,004 | 0,002 | 0,577 |
| Tempo d/AH d/R Y1 | 2 | 0,826 | 0,158 | 0,016 | 0,001 | 0,000 | 0,312 |
| Tempo d/AE d/R Y1 | 2 | 0,011 | 0,037 | 0,016 | 0,000 | 0,000 | 0,020 |
| Tempo d/AH d/R Y2 | 2 | 1,664 | 0,173 | 0,031 | 0,049* | 0,000 | 3,640* |
| Tempo d/AE d/R Y2 | 2 | 0,419 | 0,035 | 0,000 | 0,012 | 0,002 | 1,375 |
| Resíduo | 22 | 0,889 | 0,101 | 0,021 | 0,006 | 0,002 | 0,450 |
| CV (%) | | 7,1 | 4,5 | 4,4 | 6,3 | 6,3 | 7,9 |
| Profundidade de amostragem 20-40 cm | | | | | | | |
| Blocos | 2 | 0,416 | 1,116* | 0,067* | 0,038 | 0,001 | 2,460 |
| Solos | 1 | 284,4* | 0,173 | 4,688* | 256,9* | 0,211 | 8645* |
| CO d/R Y1 | 1 | 3,826 | 0,267 | 0,246* | 0,003 | 0,000 | 0,208 |
| CO d/R Y2 | 1 | 0,277 | 0,339 | 0,012 | 0,120* | 0,000 | 0,083 |
| Tempo d/AH d/R Y1 | 2 | 0,589 | 0,056 | 0,011 | 0,002 | 0,000 | 0,597 |
| Tempo d/AE d/R Y1 | 2 | 0,407 | 0,055 | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,487 |
| Tempo d/AH d/R Y2 | 2 | 0,724 | 0,026 | 0,004 | 0,004 | 0,001 | 2,945 |
| Tempo d/AE d/R Y2 | 2 | 2,581 | 0,014 | 0,006 | 0,040 | 0,001 | 15,46 |
| Resíduo | 22 | 1,132 | 0,107 | 0,018 | 0,024 | 0,001 | 4,762 |
| CV (%) | | 7,8 | 5,8 | 4,8 | 4,8 | 9,2 | 10,4 |

*: Significativo a 5% pelo teste F.

Quadro 4A - Análise de variância do diâmetro médio ponderado (DMP) e do diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados separados por via seca e por via úmida, da argila dispersa em água (ADA) e do equivalente de umidade (EU) de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados a duas profundidades, considerando a dose de dois compostos orgânicos (CO), ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE), aplicada

| Fonte de Variação | GL | Quadrado Médio | | | | | |
|--|----|----------------|--------|-----------|--------|--------|--------|
| | | Via Seca | | Via Úmida | | ADA | EU |
| | | DMP | DMG | DMP | DMG | | |
| Profundidade de amostragem 0-20 cm | | | | | | | |
| Blocos | 2 | 1,221* | 0,387 | 0,038 | 0,007 | 0,000* | 0,000 |
| Solos | 1 | 155,3* | 31,67* | 0,432* | 0,042* | 0,023* | 0,229* |
| CO d/R Y1 | 1 | 0,399 | 0,051 | 0,215* | 0,021 | 0,000 | 0,000 |
| CO d/R Y2 | 1 | 0,013 | 0,011 | 1,525* | 0,099* | 0,000 | 0,000 |
| Dose d/AH d/R Y1 | 4 | 0,021 | 0,002 | 0,003 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| Dose d/AE d/R Y1 | 4 | 0,052 | 0,003 | 0,110* | 0,019* | 0,000 | 0,000 |
| Dose d/AH d/R Y2 | 4 | 0,209 | 0,215 | 0,021 | 0,004 | 0,000 | 0,000 |
| Dose d/AE d/R Y2 | 4 | 0,179 | 0,204 | 0,517* | 0,044* | 0,000 | 0,000 |
| Resíduo | 38 | 0,169 | 0,142 | 0,026 | 0,006 | 0,000 | 0,000 |
| CV (%) | | 18,8 | 38,1 | 26,6 | 28,6 | 5,0 | 6,1 |
| Profundidade de amostragem 20-40 cm | | | | | | | |
| Blocos | 2 | 2,616* | 1,340* | 0,010 | 0,002 | 0,000 | 0,001 |
| Solos | 1 | 161,8* | 53,01* | 0,530* | 0,240* | 0,363* | 0,163* |
| CO d/R Y1 | 1 | 0,554* | 0,108 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| CO d/R Y2 | 1 | 1,307* | 1,850* | 0,244* | 0,007 | 0,000 | 0,001 |
| Dose d/AH d/R Y1 | 4 | 0,012 | 0,003 | 0,031 | 0,003 | 0,000 | 0,000 |
| Dose d/AE d/R Y1 | 4 | 0,431* | 0,085 | 0,007 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Dose d/AH d/R Y2 | 4 | 0,072 | 0,106 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Dose d/AE d/R Y2 | 4 | 0,105 | 0,227 | 0,121* | 0,005 | 0,000 | 0,000 |
| Resíduo | 38 | 0,128 | 0,129 | 0,026 | 0,002 | 0,000 | 0,000 |
| CV (%) | | 13,2 | 27,2 | 49,9 | 31,4 | 3,7 | 11,5 |

*: Significativo a 5% pelo teste F.

Quadro 5A - Análise de variância do pH, da condutividade elétrica (CE), da concentração de Ca, Mg, Na e K e da relação de adsorção de sódio (RAS) no extrato 1:5 de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados a duas profundidades, considerando a dose de dois compostos orgânicos (CO), ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE), aplicada

| Fonte de Variação | GL | Quadrado Médio | | | | | | |
|--|----|----------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | pH | CE | Ca | Mg | Na | K | RAS |
| Profundidade de amostragem 0-20 cm | | | | | | | | |
| Blocos | 2 | 0,133 | 38436* | 1,166* | 0,637* | 1,164* | 0,013* | 0,059 |
| Solos | 1 | 7,189* | 0,3E+8* | 231,8* | 61,49* | 679,6* | 0,105* | 100,7* |
| CO d/Ry1 | 1 | 2,748* | 193137* | 1,711* | 1,446* | 0,079 | 0,039* | 4,074* |
| CO d/Ry2 | 1 | 0,141 | 208333* | 4,010* | 1,380* | 2,520* | 0,010 | 0,016 |
| Dose d/AH d/Ry1 | 4 | 0,186 | 18346* | 0,190* | 0,178* | 0,063 | 0,007 | 0,078 |
| Dose d/AE d/Ry1 | 4 | 0,047 | 2426 | 0,020 | 0,013 | 0,002 | 0,004 | 0,202* |
| Dose d/AH d/Ry2 | 4 | 0,027 | 17344* | 0,180* | 0,151* | 0,669* | 0,002 | 0,049 |
| Dose d/AE d/Ry2 | 4 | 0,085 | 3703 | 0,174* | 0,061* | 0,025 | 0,000 | 0,042 |
| Resíduo | 38 | 0,089 | 2488 | 0,044 | 0,021 | 0,106 | 0,003 | 0,062 |
| CV (%) | | 5,2 | 5,3 | 8,9 | 10,1 | 7,8 | 22,9 | 8,9 |
| Profundidade de amostragem 20-40 cm | | | | | | | | |
| Blocos | 2 | 0,408* | 2519 | 0,317 | 0,020 | 1,415* | 5,482* | 63,22* |
| Solos | 1 | 0,636* | 0,2E+8* | 1,002 | 0,032 | 2085* | 23,77* | 5802* |
| CO d/Ry1 | 1 | 2,176* | 106171* | 0,592* | 0,489* | 0,116 | 0,008 | 1,778 |
| CO d/Ry2 | 1 | 0,616* | 71248* | 0,382* | 0,126* | 8,185* | 1,925 | 92,09* |
| Dose d/AH d/Ry1 | 4 | 0,081 | 19920* | 0,174 | 0,113* | 0,1120 | 0,004 | 0,046 |
| Dose d/AE d/Ry1 | 4 | 0,026 | 305,4 | 0,004 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,023 |
| Dose d/AH d/Ry2 | 4 | 0,192 | 23372* | 0,131 | 0,028 | 1,130* | 1,259 | 21,80 |
| Dose d/AE d/Ry2 | 4 | 0,096 | 1584 | 0,206 | 0,049 | 0,309 | 1,719 | 90,82* |
| Resíduo | 38 | 0,095 | 933,5 | 0,085 | 0,029 | 0,331 | 0,778 | 19,08 |
| CV (%) | | 4,9 | 3,9 | 67,2 | 47,2 | 8,7 | 115,1 | 38,7 |

*: Significativo a 5% pelo teste F.

Quadro 6A - Análise de variância da capacidade de troca catiônica (CTC), dos teores de Ca, Mg, Na e K trocáveis e da percentagem de saturação de sódio (PST) de dois Neossolos Flúvicos, normal (RY1) e salino-sódico (RY2), amostrados a duas profundidades, considerando a dose de dois compostos orgânicos (CO), ácido húmico (AH) e ácido esteárico (AE), aplicada

| Fonte de Variação | GL | Quadrado Médio | | | | | |
|--|----|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | CTC | Ca | Mg | Na | K | PST |
| Profundidade de amostragem 0-20 cm | | | | | | | |
| Blocos | 2 | 2,981 | 1,688* | 0,404* | 0,019 | 0,003 | 1,463 |
| Solos | 1 | 897,3* | 227,6* | 3,707* | 18,29* | 0,936* | 232,8* |
| CO d/R Y1 | 1 | 4,499 | 0,053 | 0,446* | 0,007 | 0,000 | 3,937* |
| CO d/R Y2 | 1 | 8,463* | 0,059 | 0,043 | 0,072* | 0,005 | 8,149* |
| Dose d/AH d/R Y1 | 4 | 1,341 | 0,069 | 0,143* | 0,005 | 0,000 | 0,133 |
| Dose d/AE d/R Y1 | 4 | 0,349 | 0,049 | 0,017 | 0,008 | 0,000 | 0,985 |
| Dose d/AH d/R Y2 | 4 | 3,221 | 0,998* | 0,187* | 0,010 | 0,005* | 0,649 |
| Dose d/AE d/R Y2 | 4 | 1,278 | 0,079 | 0,002 | 0,003 | 0,000 | 0,412 |
| Resíduo | 38 | 1,682 | 0,259 | 0,037 | 0,007 | 0,001 | 0,765 |
| CV (%) | | 9,2 | 7,1 | 5,8 | 7,8 | 8,3 | 12,0 |
| Profundidade de amostragem 20-40 cm | | | | | | | |
| Blocos | 2 | 1,578 | 0,656* | 0,212* | 0,006 | 0,000 | 6,761 |
| Solos | 1 | 712,8* | 0,606* | 11,09* | 397,6* | 0,400* | 10645* |
| CO d/R Y1 | 1 | 4,246 | 0,286* | 0,220* | 0,004 | 0,002 | 0,169 |
| CO d/R Y2 | 1 | 0,004 | 0,462* | 0,032 | 0,023 | 0,001 | 0,482 |
| Dose d/AH d/R Y1 | 4 | 1,139 | 0,185* | 0,012 | 0,006 | 0,000 | 0,143 |
| Dose d/AE d/R Y1 | 4 | 0,393 | 0,289* | 0,011 | 0,003 | 0,000 | 0,309 |
| Dose d/AH d/R Y2 | 4 | 2,075 | 0,068 | 0,008 | 0,019 | 0,000 | 2,742 |
| Dose d/AE d/R Y2 | 4 | 4,433* | 0,130 | 0,004 | 0,009 | 0,002* | 12,23* |
| Resíduo | 38 | 1,678 | 0,0576 | 0,013 | 0,012 | 0,0007 | 4,151 |
| CV (%) | | 8,8 | 4,1 | 3,9 | 3,5 | 10,9 | 11,0 |

*: Significativo a 5% pelo teste F.