

9

Micromorfologia da Camada Superficial de Solo Tratado com Lodo de Esgoto

José Ronaldo de Macedo; Heloísa Ferreira Filizola; Manoel Dornelas de Souza e Klaus Reichardt

Introdução

A micromorfologia vem sendo aplicada, progressivamente, em vários domínios da pesquisa agrícola. Suas aplicações mais importantes incluem: observação das modificações da estrutura natural do solo decorrentes do uso da terra, da incorporação de húmus, da ação de implementos e máquinas agrícolas, dos efeitos do plantio direto, dos mecanismos de formação do selamento, dos efeitos da compactação abaixo do horizonte Ap, dos efeitos na drenagem, da aração profunda e, finalmente, no condicionamento dos solos, entre outros (Jongierius, 1983).

A maioria dos estudos que abordam o problema de selamento superficial mostra que este encontra-se relacionado ao preparo do solo em função de sua atuação direta sobre a estrutura do solo, que afeta especialmente a densidade e a porosidade, que tendem a diferenciarem-se da condição natural, piorando com o decorrer do tempo (Anjos et al., 1994; Pagliai & Vignozzi, 1998). Estes estudos apontam, ainda, que o cultivo intensivo do solo agrícola pode levar à deterioração da estrutura e de outros atributos físicos e, conseqüentemente, à degradação ambiental.

Uma das principais alterações diz respeito aos métodos de preparo do solo, que o tornam suscetível à formação do encrostamento superficial (ou selamento) pela ação da chuva. A crosta do solo, assim formada, adquire uma capa superior delgada, com aproximadamente 0,1 mm de espessura e permeabilidade 2000 vezes menor do que a da camada subjacente não afetada (McIntire, 1958), que não sofreu os efeitos do impacto das gotas. Uma segunda

camada surge, logo abaixo da primeira, formada pelas partículas que são arrastadas pela água e que entopem os poros, com permeabilidade 200 vezes menor do que a camada inferior, também não afetada. A relação entre os macro e os microporos é alterada com predominância da microporosidade, reduzindo a permeabilidade da água e do ar.

De acordo com Asunción Usón (1999), o tipo de preparo do solo pode diminuir a estabilidade estrutural e deixar sua superfície descoberta, acarretando maior propensão à ocorrência de selamento ou de encrostamento superficial. Em contrapartida, as práticas agrícolas, que deixam resíduos na superfície do solo, reduzem ou eliminam os riscos de encrostamentos superficiais. Observaram ainda que houve a formação de encrostamento e selamento superficial nos três solos estudados, ricos em carbonatos de cálcio (Calcaric Fluvisol: Haplic Calcisol e Calcaric Regosol), independentemente de suas texturas, que modificaram a porosidade, a microestrutura e as pedofeições originais do solo. As feições do encrostamento foram relacionadas ao colapso parcial dos microagregados, que formaram uma porosidade de empacotamento. O autor concluiu que, tanto o cultivo reduzido, como o tradicional, não foram suficientes para prevenir a formação de crostas e que estas, formadas no primeiro caso, originaram-se após vários eventos de chuva, enquanto que no sistema tradicional, a formação se deu em um único evento. Contudo, nem a porosidade total, nem as outras características micromorfológicas foram alteradas significativamente nos solos, com e sem encrostamento superficial.

Pagliai & Vignozzi (1998) afirmaram que o encrostamento do solo pode ser reduzido ou prevenido pela utilização de lodo de esgoto. Essa ação se deve à adição de matéria orgânica, que melhora as propriedades físicas, como a estabilidade de agregados, além de reduzir o efeito do impacto direto da gota d'água da chuva pela presença de partículas de lodo na superfície quando ele não é incorporado ao solo. A matéria orgânica promoveria a quebra do encrostamento superficial graças aos ciclos de expansão e contração das camadas encrostadas decorrentes do aumento da capacidade de retenção de água, com uma conseqüente redução da compactação e melhoria do movimento vertical de água no perfil do solo.

Micromorfologia da Camada Superficial de Solo Tratado com Lodo de Esgoto

Schaefer et al. (2001) verificaram, no Brasil, que nos solos onde o preparo foi feito com grade pesada e arado de aiveca, ou grade pesada e arado de disco ou grade pesada, houve a formação de poros planares próximos à superfície do solo, concentrados nos primeiros centímetros. De acordo com os autores, a existência de poros fissurais indica adensamento do solo, fenômeno este que está associado ao encrostamento ou selamento superficial. Nos tratamentos com grade pesada percebeu-se um aspecto de adensamento do solo na sub-superfície. Este adensamento caracterizava-se por um empacotamento da massa do solo em torrões, formando zonas compactadas, separadas umas das outras, com poucos poros interligados. Eles consideraram que devido à compactação e ao selamento superficial do solo, as taxas de infiltração e a retenção de água poderão ser baixas.

No presente capítulo estão apresentados os efeitos da aplicação de lodo de esgoto na formação de selamento superficial, que foi avaliado por meio de estudos micromorfológicos, num sistema de preparo do solo com aração, gradagem e posterior incorporação do lodo de esgoto com enxada rotativa, o que pulveriza o solo e o expõe à ação direta das gotas de chuva.

Material e Métodos

Adicionalmente ao esquema experimental de blocos ao acaso (Capítulo 1), foram coletadas amostras com estrutura indeformada do mesmo solo sob mata nativa, objetivando comparar os efeitos causados na mudança do uso do solo em relação aos tratamentos com e sem lodo de esgoto.

As amostras foram coletadas em triplicatas na superfície do solo, em caixa de Kubiena, com dimensões de 7 cm x 10 cm (70 cm²) no ano agrícola de 2000/2001. Em seguida, as amostras permaneceram, por 48 h, secando em estufa à 40°C com ventilação forçada. Após o processo de secagem, as amostras foram impregnadas conforme Paula et al. (1991) e colocadas posteriormente nos dessecadores conectados a bombas pneumáticas, formando um sistema fechado e a vácuo. Então, adicionou-se a resina aos poucos, durante

oito horas seguidas, observando-se sempre a frente de molhamento. Após esse tempo, as amostras permaneceram por mais 72 h para que o processo de polimerização se completasse. A composição da resina impregnadora constou da mistura de resina plástica ARALDITE (50%), álcool etílico anidro (45%) e endurecedor (5%) (Paula et al., 1991), e corante ultra violeta EPODE (0,01%), nas percentagens em massa especificadas entre parênteses. As lâminas delgadas (LD), com aproximadamente 50 mm de espessura, foram confeccionadas com máquina "Rectifiuse Multiplaques" com disco de diamante e suporte de lâminas de 140 x 68 mm, no Laboratório de Micromorfologia da UNESP-Rio Claro/SP. Na etapa posterior, as lâminas delgadas foram polidas, manualmente, utilizando pó abrasivo ultra fino, até a obtenção de seções delgadas com espessura média de 30 µm.

As observações e descrições micromorfológicas foram realizadas em 27 lâminas delgadas, de acordo com os critérios propostos por Brewer (1976) e Bullock et al. (1985), no Laboratório de Mineralogia, da Embrapa Solos (Rio de Janeiro), equipado com microscópio universal axiosplan ótico polarizante Zeiss e estereomicroscópio binocular Wild, ambos sob luz normal e polarizada. As fotos foram obtidas com câmera fotográfica digital Sony AVT-Horn 3CCD. As etapas das análises micro-morfológicas seguiram os preceitos descritos em Cooper (1999).

Resultados e discussão

Análise micromorfológica das lâminas delgadas

Será apresentada uma síntese das descrições das lâminas delgadas referentes ao solo sob mata e dos tratamentos testemunha absoluta, 4N e 8N. Foram consideradas como semelhantes ao tratamento testemunha as lâminas delgadas referentes ao tratamento NPK, pelo fato de suas descrições não diferirem do tratamento testemunha e porque essas lâminas não receberam nenhuma dose de lodo de esgoto. Quanto às lâminas relativas aos tratamentos 1N e 2N, suas descrições foram, em alguns casos, semelhantes aos tratamentos

Micromorfologia da Camada Superficial de Solo Tratado com Lodo de Esgoto

testemunha e NPK e transitórias em relação aos tratamentos com maiores doses de lodo de esgoto, ou seja, dos tratamentos 4N e 8N.

Descrição micromorfológica das lâminas delgadas de solo sob mata nativa

As lâminas delgadas analisadas referentes à mata nativa, apresentaram-se homogêneas em toda sua extensão, não havendo evidências claras de selamento superficial e nem áreas distintas que permitissem sua separação em mais de uma secção (Fig. 1A).

A estrutura é composta de blocos angulares e subangulares, com um grau de pedalidade fortemente desenvolvido. Os agregados estão delimitados por vazios fissurais. Eles são dominantes, com tamanho variando de 1,0 a 2,0 mm e apresentam grau de acomodação classificado como parcialmente acomodado a acomodado.

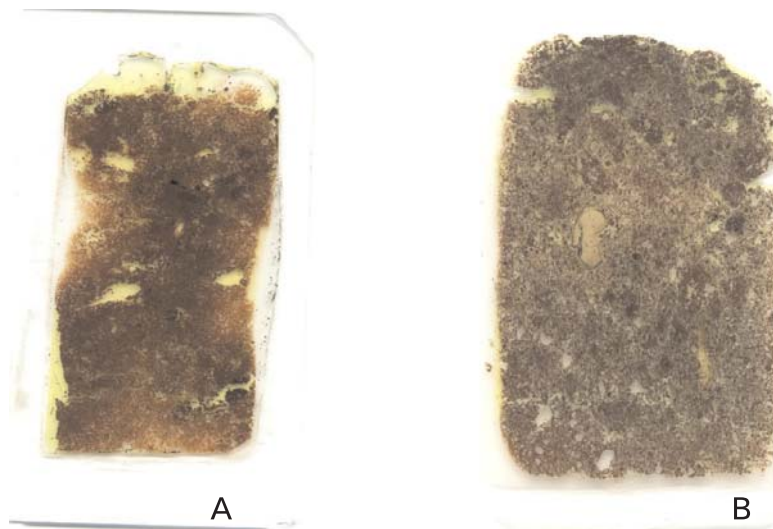


Fig. 1. Aspecto geral de uma lâmina delgada do solo . A = sob mata; B = da testemunha absoluta

A porosidade está na faixa dos 40% do tipo inter (36%) e intragregados (4%), sendo predominantemente constituída por macroporos com dimensões variando de 250 μm a maiores do que 2000 μm . Entretanto, o tamanho médio dos poros situou-se entre 500 a 1000 μm . As principais conformações encontradas dos macroporos foram as irregulares, denticuladas e mamelonadas, com 70, 20 e 10%, respectivamente. Quanto ao alisamento de suas paredes, são encontrados ortoporos e metaporos, indicando, neste último caso, a presença de atividade biológica, que foi confirmada pela presença de cavidades, canais e fissuras, que têm sua origem nas atividades pedológicas (60%) e biológicas (40%).

O plasma apresentou cor bruno avermelhada, sendo constituído de argila e matéria orgânica e com contraste proeminente e nítido. A estrutura plásmica é isotrópica, do tipo indiferenciada. O fundo matricial encontra-se íntegro, com trama do tipo porfírica aberta (70%) e fechada (30%).

Ainda, em função das descrições das lâminas delgadas do solo sob mata nativa, foram encontradas feições pedológicas: glébulas (nódulos) e pedotúbulos (biotúbulos). Os pedotúbulos indicaram atividade biológica e apresentaram forma externa tubular ramificada do tipo simples, com dimensões entre 2,0 e 3,0 mm. A assembléia interna foi classificada como sendo de granotúbulos e biotúbulos, com densidades de assembléia variando desde solta descontínua até densa completa. Os pedotúbulos estavam parcial ou completamente preenchidos com esqueleto e plasma e, algumas vezes, com resíduos de raízes. Eles foram classificados como moderada a fortemente aderentes.

Descrição micromorfológica das lâminas delgadas com solo do tratamento testemunha absoluta

As lâminas delgadas referentes aos tratamentos testemunha absoluta, apresentam-se homogêneas em toda sua extensão (Fig. 1B), havendo evidências claras de selamento superficial apenas em duas das quatro analisadas, sendo, no entanto, de pequena dimensão (com espessura média de 2,0 mm).

Micromorfologia da Camada Superficial de Solo Tratado com Lodo de Esgoto

A estrutura é composta de blocos subangulares fragmentados, ou microgranular, com tamanhos variando de menos de 0,5 a 2,0 mm e mal acomodados e/ou dispersos nos espaços vazios do solo.

A porosidade variou entre 50 e 60%, sendo, predominante, a categoria de poros de empilhamento, ocupando, cerca de, 90% desse total. Dentro da porosidade de empilhamento, verificou-se a predominância de macroporos com dimensões entre 1000 e 2000 μm , do tipo irregulares e de ortoporos. Foram classificados como poros de empilhamento complexos, não sendo possível distinguir poros decorrentes de atividade biológica como cavidades, vesículas, canais e câmaras.

O fundo matricial encontra-se todo alterado, onde foi possível identificar a degradação da trama porfírica para enáulica. A estrutura foi desfeita, estando os agregados dispersos nos espaços vazios, principalmente nos macroporos produzidos pelos implementos agrícolas, durante o preparo do solo.

Já o plasma, de cor bruna avermelhada, é constituído de argila e de matéria orgânica, ocupando apenas 30% do fundo matricial, tendo como principal alteração, a distribuição relativa que passou do tipo porfírica, no solo sob mata, para o tipo porfírica (40%) e enáulica (60%). A estrutura plasmática foi classificada como isotrópica do tipo isótica. No caso das feições pedológicas, apenas se constatou a presença de glebulas.

Descrição micromorfológica das lâminas delgadas referentes ao solo do tratamento 4N

A descrição micro-morfológica das lâminas delgadas referentes aos tratamentos 4N possibilitou distinguir três zonas. A primeira zona localiza-se na parte superior da lâmina delgada, a segunda, transacional entre a 1ª e a 3ª, e a última zona, localizada na parte média-inferior da lâmina (Fig. 2).

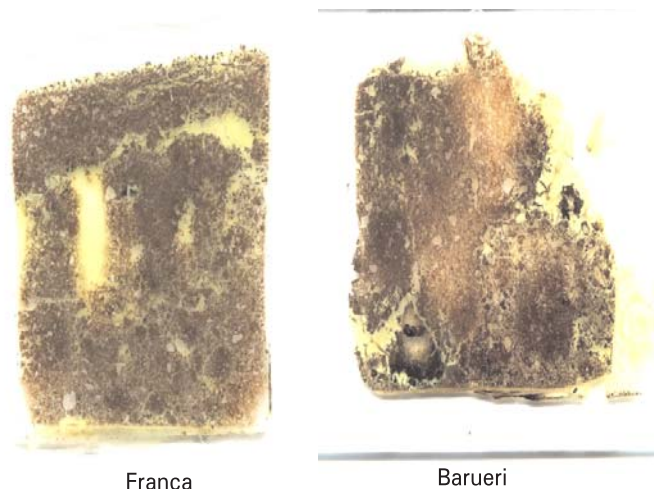


Fig. 2. Aspecto geral de uma lâmina delgada do solo do tratamento quatro vezes a dose de lodo de esgoto recomendada.

1ª Zona: possui espessura média de 10 μm , apresenta uma microestrutura fragmentada, em blocos subangulares, com pedalidade alterada para fraca. O tamanho predominante dos microagregados tem dimensões menores do que 500 μm , porém apresenta agregados remanescentes da estrutura original, com dimensões variando de 700 a 1.400 μm , sendo classificados como mal acomodados.

Quanto à porosidade, constituída praticamente de macroporos interagregados, atinge aproximadamente 50% da área total, sendo categorizada em poros fissurais (30%) e poros de empilhamento (20%). As suas dimensões variaram dos 250 a 2.000 μm , havendo predominância de poros fissurais. Há nítida evidência de selamento superficial, com espaços inter-camadas de, aproximadamente, 500 μm .

O plasma, também constituído basicamente de matéria orgânica e argila, apresentou cor bruna avermelhada escura e com contraste proeminente e nítido. A estrutura plásmica é isotrópica, do tipo indiferenciada. Além da porosidade fissural estratificada horizontalmente, o fundo matricial encontra-se bastante alterado, com a trama passando de porfírica (50%) para enáulica (50%).

2ª Zona: esta camada apresentou espessura média de 20 μm , sendo sua microestrutura constituída de blocos subangulares, com pedalidade

Micromorfologia da Camada Superficial de Solo Tratado com Lodo de Esgoto

variando de fraca a moderadamente desenvolvida e com blocos mal acomodados.

A porosidade total diminui um pouco, totalizando 40%, com predominância de macroporos interagregados de arranjo ou empilhamento e irregulares, com dimensões variando de 250 a 2.000 μm . Contudo, o principal intervalo variou entre 500 a 1.000 μm . Apresentou, também, um macroporo com 5 mm de largura por 20 mm de profundidade, que pode ser considerado como um artefato em razão do processo de impregnação com Araldite. Não se verificou a presença de área adensada nesta camada. Entre a 1ª e 2ª zonas observou-se uma grande descontinuidade do solo, decorrente, provavelmente, da ruptura de sua agregação. Durante o período de coleta dos monólitos verificou-se no campo que, em algumas caixas de Kubiena, durante o manuseio de armazenamento, a parte inferior da amostra desmoronava, ficando apenas a camada superficial retida na caixa. Outra possível explicação para o surgimento desta descontinuidade pode ter sido que, durante o processo de impregnação, a porção pulverizada tenha se despreendido do restante da amostra e causado, assim, um artefato. Esta segunda possibilidade foi considerada menos provável.

3ª Zona: apresentou uma trama predominantemente porfírica, com algumas áreas com trama enáulica. A porosidade intragregados do tipo empilhamento predomina nesta zona. A pedalidade variou de fraca a moderada.

Em todas as lâminas deste tratamento não se observaram indícios de grande atividade biológica, como presença de raízes, canais, vesículas e pedotúbulos.

Descrição micromorfológica das lâminas delgadas referentes ao solo do tratamento 8N

A descrição micromorfológica das lâminas referentes aos tratamentos 8N possibilitou também delimitar três zonas. A primeira, na parte superior da lâmina delgada, com espessura média de 10 mm; a segunda, transacional entre a 1ª e a 3ª, com espessura média de 20 mm e a última zona, localizada na parte média-inferior da lâmina, com espessura média de 40 mm (Fig. 3).

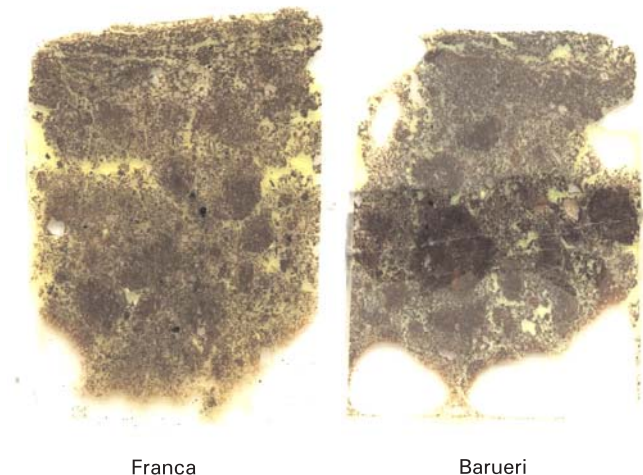


Fig. 3. Aspecto geral de uma lâmina delgada do solo com tratamento oito vezes a dose de lodo recomendada, com selamento superficial bem desenvolvido.

1ª Zona: nesta zona foi observada uma microestrutura laminar. Apresentou pedalidade fracamente desenvolvida. A porosidade foi constituída com poros fissurais, horizontais ao perfil do solo. Os macroporos interlâminas são predominantes, tendo meso e microporos interpedes. A distribuição relativa é enáulica (60%) e quitônica (40%).

Detalhando um pouco mais esta zona verificou-se que a microestrutura era de blocos subangulares, com grau de pedalidade fracamente desenvolvida e grau de acomodação do tipo mal acomodados. A distribuição referida, do tipo paralela, apresenta limites com contrastes nítidos e baixa variabilidade dos pedes. Em termos de abundância, esses pedes eram dominantes a muito dominantes, apresentando tamanho médio de 600 mm, com valores extremos variando de 400 a 1000 mm.

A porosidade predominante era de interagregados com conformação fissural (80%) e, em menor proporção, havia poros do tipo de empilhamento ou vazios intergranulares (20%). Estes últimos, com formas irregulares. A orientação de base era forte e paralela. A distribuição, tanto de base como referida, era paralela. A macroporosidade predominante era do tipo interagregados, com tamanho dos poros variando de 500 a mais de 2.000 m.

Micromorfologia da Camada Superficial de Solo Tratado com Lodo de Esgoto

Em termos de alisamento das paredes, 100% dos poros eram do tipo metaporos.

2ª Zona: não apresentou poros planares, porém os pedes estão, também, mal acomodados e com pedalidade variando de fraca a moderada. A trama era predominantemente enáulica.

3ª Zona: observou-se um aumento da pedalidade, passando esta a variar de moderada a desenvolvida e, também, uma inversão da distribuição relativa, passando de enáulica para porfírica na proporção de 40% para 60%, respectivamente. Esta região, que compreende toda a parte média-inferior da lâmina, apresentou uma conformação mais próxima do solo sob mata.

Foi verificado nas lâminas referentes ao tratamento 8N, independentemente da procedência do lodo (ETE de Barueri ou Franca), um encrostamento superficial, com espessura variando de 1,0 a 2,0 mm. Abaixo desse encrostamento havia existência de uma faixa de transição com espessura variando de 6,5 a 25 mm (com espessura média de 18,5 mm). A origem desta faixa transicional pode ter sido causada pelas mesmas razões das descritas nas lâminas relativas ao tratamento 4N.

Nas três zonas descritas, relativas ao tratamento com oito vezes a dose de Nitrogênio recomendada, não foram identificados canais e vesículas, nem pedotúbulos, típicos das atividades biológicas da macro e microbiota e do processo pedogenético. Este fato foi devido, provavelmente, à destruição dos poros pela ação dos implementos agrícolas utilizados no preparo do solo. Em todas as três zonas dessas lâminas foram identificadas a presença de glébulas (nódulos).

As passagens da distribuição relativa porfírica, na lâmina da mata, para enáulica foram consideradas como indicadoras do efeito do preparo do solo na mudança da sua pedalidade.

Análise comparativa entre as lâminas delgadas do solo sob mata com aquelas dos tratamentos testemunha, 4N e 8N

Comparando os resultados das descrições das lâminas delgadas, em relação aos tratamentos com as diferentes doses de lodo, ficou evidenciado

o incremento do selamento ou encrostamento superficial, à medida que se aumentou a dose de lodo.

No tratamento testemunha absoluta observou-se, na maioria das lâminas, um leve adensamento superficial, de espessura média de 0,5 mm, em que a macroporosidade foi afetada. Já nos tratamentos com quatro e oito vezes a dose de lodo recomendada, pode-se distinguir, com muita facilidade, uma primeira zona, de aproximadamente 20,0 mm, apresentando camadas paralelas à superfície, onde a porosidade predominante é a de poros fissurais.

Ambas as camadas foram conseqüências diretas do sistema de preparo do solo, o qual deixou a superfície do solo descoberto sujeito à ação desagregadora das gotas de chuva, corroborando com os resultados obtidos por outros autores (Anjos et al., 1994; Casanellas et al., 1994; Vieira & Souza, 1997; Rezende, 1997) que afirmaram que quanto mais intenso for o preparo, maiores as alterações nas condições estruturais do solo. Entretanto, um fato que deve ser ressaltado, é que as lâminas delgadas relativas aos tratamentos com maiores doses de lodo, independentemente da fonte, apresentam um incremento do selamento superficial, com o aumento da dose de lodo de esgoto.

Neste caso, uma das considerações que poderia justificar o aumento do selamento superficial decorrente da adição de doses crescentes de lodo, se basearia no fato de que a presença do polieletrólito acrescentado ao lodo aceleraria a desidratação do solo nas parcelas com maiores doses de lodo, não permitindo, assim, que o processo de reestruturação do solo procedesse adequadamente. Tsutiya (2001), analisando as características físicas do lodo de esgoto, afirmou que o "Tempo de Sucção Capilar" (TSC) do lodo apresenta, geralmente, valores típicos menores do que 10 s. Lodos sem condicionamento, ou condicionados com cal, apresentam valores de TSC variando entre 10 s e maiores do que 100 s. O TSC é um parâmetro determinado em laboratório e que permite conhecer a taxa de desidratação do lodo quando condicionado com polímero eletrolítico catiônico.

Um outro parâmetro importante é o Índice de Suporte Califórnia (ISC), que mede a resistência de um solo compactado a suportar pressões quando em condições saturadas ou não. De acordo com os resultados obtidos

Micromorfologia da Camada Superficial de Solo Tratado com Lodo de Esgoto

por Tsutiya (2001), os lodos condicionados com polímeros apresentam baixo ISC (< 3), resultando em baixa capacidade portante, ou seja, sofrem maior deformação sob pressão, em relação a outros lodos condicionados com cal e/ou cloreto férrico, quando estão na sua umidade ótima.

Ocorreram, ainda, outras duas alterações significativas em relação à trama do solo e, também, em relação ao tamanho dos microagregados, quando se comparou os tratamentos testemunha com os tratamentos que receberam lodo de esgoto nas maiores doses.

Nos tratamentos em que o lodo foi incorporado com enxada rotativa houve uma redução drástica do tamanho dos microagregados, que apresentaram um tamanho médio da ordem de 0,4 mm, enquanto que no solo sob mata, os agregados alcançaram valores médios em torno de 20 mm.

Quanto à porosidade, pode-se afirmar que ocorreu uma mudança nos interagregados no solo sob mata, em relação àqueles submetidos às diferentes doses de lodo. Inicialmente, observou-se um decréscimo da macroporosidade, nos tratamentos em que o sistema de manejo envolveu o uso de implementos agrícolas, com e sem adição de lodo. A porosidade, que era predominantemente de poros interagregados, como canais, cavidades, câmaras e vesículas na mata, passou a ser de poros fissurais na superfície (região com encrostamento superficial) e poros de arrançamento (ou empilhamento), em sub-superfície, nos demais tratamentos com lodo. Esses resultados concordam com os alcançados por Marsili et al. (1998), que verificaram alterações da macroporosidade, principalmente dos poros alongados na camada superficial devido ao número de vezes que se passou o trator e, com Pagliai et al. (1998), que identificaram formação de crostas superficiais devido ao impacto das gotas de chuva no solo sem vegetação em função do tipo de preparo do solo.

Em relação à trama, verificou-se que, no solo sob mata, ela foi predominantemente classificada como trama porfírica densa em toda a extensão das lâminas delgadas analisadas. Entretanto, em todas as parcelas onde foram usados os implementos agrícolas para o preparo do solo, a trama alterou-se para a trama enáulica, por vezes até quitônica.

Em termos gerais, os fundos matriciais de todas as lâminas analisadas foram constituídos de plasma, esqueleto e poros em proporções variadas entre a mata e os demais tratamentos. Não foi descrita a parte referente ao esqueleto, pois não foram observadas diferenças desse atributo entre as lâminas dos diversos tratamentos e da mata. Além disso, o material foi considerado autóctone. Em todas as lâminas delgadas não foram identificadas feições pedológicas do tipo: cutãs, subcutãs e cristalárias, as quais estão mais relacionadas com a pedogênese do que com as alterações antrópicas decorrentes do uso dos implementos agrícolas.

Considerações finais

- As lâminas delgadas confirmaram a presença de selamento superficial que aumenta desde o tratamento testemunha absoluta até o tratamento com oito vezes a dose de lodo de esgoto recomendada.

- O preparo do solo foi o responsável pela mudança da trama porfírica, no solo sob a mata, para enaúlica e quitônica nas parcelas cultivadas.

- A porosidade tubular e fissural inter e intragregados, no solo sob mata, alterou-se para a de empilhamento, atingindo, nas doses maiores de lodo, uma porosidade do tipo planar.

Referências

ASUNCIÓN USÓN, R.M.P. Effects of tillage and management practices on soil crust morphology under a Mediterranean environment. **Soil & Tillage Research**, v.54, p.191-196, 1999.

ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LAITE, G.B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos diferentes sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.139-145, 1994.

BREWER, R. **Fabric and mineral analysis**. New York: Robert E. Krieger Publishing Company, 1976. 482p.

Micromorfologia da Camada Superficial de Solo Tratado com Lodo de Esgoto

BULLOCK P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOPPS, G.; TURSINA, T. **Handbook of soil thin section description**. London: Waine Research Publications, 1985. 152p.

CASANELLAS, J.P.; REGUERIN, M.L.A.; LABURU, C.R. de. **Edafología para la agricultura y el medio ambiente**. Estudios de suelos en el laboratorio. 2.ed. Madri: Mundi-Prensa, 1999. cap.4, p.55-74.

JONGERIUS, A. The role of micromorphology in agricultural research. In: BULLOCK, J.; MURPHY, C.P. (Ed.). **Soil micromorphology: Techniques and applications**. Madison: A.B. Academic Publishers, 1983. v.1, p.111-138.

MARSILI, A.; SERVADIO, P.; PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N. Changes of some physical properties of a clay soil following passage of rubber- and metal-tracked tractors. **Soil & Tillage Research**, v.49, p.185-199, 1998.

McINTIRE, D.S. Soil splash and formation of surface crust raindrop and over land flow. **Soil Science**, v.85, p.261-266. 1958.

PAGLIAI, M. Effects of different management practices on soil structure and surface crusting. **Soil Micromorphology**, p.415-421, 1987.

PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N. Use of manure for soil improvement. In: WALLACE, A.; TERRE, R.E. (Ed.). **Handbook of soil conditioners: substances that enhance the physical properties of soil**. New York: Marcel Dekker, 1998. cap.4, p.119-139.

PAULA N.; YAMAMOTO, J.K.; TOGNON, A.A. Seções delgadas de solos: método de impregnação com resina plástica Araldite. **Boletim IG-USP, Publicação Especial**, v.9, p.193-196, 1991.

REZENDE, J.O. Compactação e adensamento do solo, metodologia para avaliação e práticas agrícolas recomendadas. (Compact disc) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997.

SCHAEFER, C.E.G.R.; SOUZA, C.M.; VALLEJOS, M.F.J.; VIANA, J.H.M.; GALVÃO, J.C.C.; RIBEIRO, L.M. Características da porosidade de um argissolo vermelho-amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.765-769, 2001.

TSUTIYA, M.T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALÉM

Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais da Agricultura

SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. cap.4, p.89-131.

VIEIRA, L.B.; SOUZA, C.M. de. **Curso de Engenharia e Manejo de Irrigação: Módulo 7 - Mecanização em áreas irrigadas**. Brasília: ABEAS; Viçosa: UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 1997. 213p.