

ÍTALO MORAES ROCHA GUEDES

AGREGAÇÃO DE AMOSTRAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO
EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE ALCATRÃO VEGETAL

Tese apresentada à Universidade Federal
de Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia,
para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2002

ÍTALO MORAES ROCHA GUEDES

AGREGAÇÃO DE AMOSTRAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE ALCATRÃO VEGETAL

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 20 de dezembro de 2002.

**Prof. Benedito Rocha Vital
(Conselheiro)**

**Prof. Caetano Marciano de Souza
(Conselheiro)**

Prof . Hugo Alberto Ruiz

Prof . Antonio Teixeira de Matos

**Prof. Liovando Marciano da Costa
(Orientador)**

A meu pai, Antônio Rocha Guedes (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo, naturalmente.

A meus pais Antônio Rocha Guedes (*in memoriam*) e Lêda Miriam Moraes Rocha e a minha irmã Karla, pela educação, amor, apoio e confiança que sempre me deram.

A minha amada Sueli, luz de minha vida, apoio fundamental em todas as horas, por sua paz, paciência e amor.

Às minhas tias Maura e Fátima, pelo incondicional apoio de mães, que foram.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, pela oportunidade a mim conferida de estudar em uma instituição de tão alta qualidade.

Ao Prof. Liovando Marciano da Costa pela orientação, paciência e confiança ao longo do curso.

Aos meus conselheiros Prof. Benedito Rocha Vital e Prof. Caetano Marciano de Souza pelas valiosas contribuições na realização da tese.

Aos professores Hugo Alberto Ruiz, do Departamento de Solos, e Antônio Teixeira de Matos pelas inestimáveis contribuições e sérias correções.

Ao CNPq pela concessão da bolsa ao longo da maior parte do curso.

Aos professores dos departamentos em que cursei disciplinas, todos sem dúvida contribuíram valiosamente na tarefa de diminuir minha ignorância e incrementar minha formação profissional e humana.

Às secretárias Mara (DFT) e Luciana (DPS) pelos profissionais e cruciais auxílios em tantos momentos difíceis.

Aos vários laboratoristas do DPS sem os quais meu trabalho seria tão mais árduo, especialmente aos Srs. Carlos Henriques e José Braz Júlio.

Aos amigos e colegas que tornaram o mestrado uma experiência tão enriquecedora em termos profissionais quanto em termos humanos.

A toda minha família que, apesar da distância, sempre me apoiou.

À família de minha noiva Sueli que me adotou como um verdadeiro filho e irmão.

Um agradecimento especial a meu primo Aroldo Roberto Rocha de Lima (*in memoriam*), que num momento difícil de minha vida, tomou conta de tudo e permitiu que eu pudesse chegar onde estou.

BIOGRAFIA

Ítalo Moraes Rocha Guedes, filho de Antônio Rocha Guedes e de Lêda Mirian Moraes Rocha, nasceu na cidade de Patos, Estado da Paraíba, Brasil, em 19 de julho de 1976.

No mês de março de 1995, ingressou no curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, concluindo-o em setembro de 1999.

Iniciou o Curso de Mestrado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa em agosto de 2000 e defendeu tese em dezembro de 2002.

ÍNDICE

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Estrutura do solo	3
2.2. Formação de agregados no solo	4
2.3. Ação da matéria orgânica na formação e estabilização de agregados	5
2.4. Alcatrão	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. Experimento 1	10
3.1.1. Incubação do solo com alcatrão	10
3.1.1.1. Solo	10
3.1.1.2. Tratamentos	11
3.1.1.3. Delineamento experimental	11
3.1.1.4. Procedimento experimental	11
3.1.1.5. Determinações físicas	12
3.1.1.6. Determinações químicas	13
3.2. Experimento 2	14
3.2.1. Respirometria	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1. Formação de agregados no solo	17
4.2. Estabilidade de agregados e grau de floculação de argilas	19
4.3. Carbono orgânico do solo	24
4.4. Respirometria	26
5. CONCLUSÕES	31
6. BIBLIOGRAFIA	32

RESUMO

GUEDES, Ítalo Moraes Rocha, M. S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2002. **Agregação de amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo em resposta à aplicação de alcatrão vegetal**. Orientador: Liovando Marciano da Costa. Conselheiros: Benedito Rocha Vital e Caetano Marciano de Souza.

O trabalho visou avaliar o efeito de incubação de horizontes A e C de um Latossolo Vermelho-Amarelo com alcatrão sobre seu estado de agregação e a toxicidade do alcatrão sobre a microbiota do solo por meio de respirometria. Utilizaram-se amostras de solo provenientes de horizontes A e C de um Latossolo Vermelho-Amarelo destorroadas e passadas em peneira de 2,00 mm. No ensaio de incubação, os tratamentos foram representados por duas doses de alcatrão, 15 g e 45 g de alcatrão por quilograma de solo, além do tratamento testemunha (sem alcatrão). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em um esquema fatorial 3 (doses de alcatrão) x 2 (horizontes) com 3 repetições. No experimento de respirometria avaliou-se a toxicidade do alcatrão sobre a atividade microbiana do solo. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com parcelas subdivididas. A separação dos agregados foi feita utilizando-se um agitador com peneiras de 4,76 – 2,00 – 1,00 e 0,50 mm. A análise de estabilidade de agregados foi feita utilizando-se o oscilador mecânico Yoder. O carbono orgânico total do solo foi determinado quimicamente pela oxidação do material orgânico com dicromato de potássio em bloco digestor. Para o horizonte A, houve formação de agregados > 2,00 mm independentemente da presença ou não de alcatrão e isto foi confirmado pela análise estatística dos resultados. De maneira diferente, nas amostras do horizonte C em que foi adicionado o alcatrão, houve formação de agregados. A estabilidade de agregados > 2,00 mm no horizonte A foi alta, ao contrário do que ocorreu no horizonte C. Nos

dois horizontes observou-se que a estabilidade de agregados dos tratamentos que receberam alcatrão não diferiu do tratamento testemunha. Houve aumento no grau de floculação do horizonte A com o acréscimo de alcatrão, o que não ocorreu no horizonte C. A adição de alcatrão ao solo promoveu aumentos nos teores de carbono orgânico em ambos os horizontes, embora no horizonte C o aumento tenha sido proporcionalmente maior. A evolução de CO₂ diferiu entre os horizontes, tendo sido maior no horizonte A, em que a dose 15 g de alcatrão/kg de solo foi superior às outras, não havendo diferença entre doses no horizonte C. A menor dose de alcatrão serviu de fonte de carbono à microbiota no horizonte A, enquanto as maiores doses foram tóxicas aos microrganismos. No horizonte C, independentemente da dose de alcatrão utilizada, a atividade microbiana foi muito pequena.

ABSTRACT

GUEDES, Ítalo Moraes Rocha, M. S., Universidade Federal de Viçosa, December, 2002. **Aggregation of samples of an Oxisol in response to the application of tar.** Adviser: Liovando Marciano da Costa. Committee members: Benedito Rocha Vital e Caetano Marciano de Souza.

This work aimed of evaluating the effect of incubating A and C horizons of an Oxisol with tar on their aggregate status by determining aggregate formation, aggregate stability and its time of action, and the toxicity of tar on soil microorganisms by measuring soil respiration. The soil was sampled from A and C horizons of an Oxisol which were grinded and passed through a 2.00 mm sieve. The incubation experiment was completely randomized in a 3 (tar levels) x 2 (soil horizons) factor with 3 replications and only two tar levels were evaluated, namely 15 g and 45 g of tar per kilogram of soil, plus the no-tar treatment. An agitator with 4.76, 2.00, 1.00 and 0.50 mm sieves separated aggregates. Aggregate stability was determined using Yoder's mechanical oscillator. Total organic carbon was determined by chemical oxidation of the soil organic material. In the respiration experiment, tar toxicity was evaluated by capturing soil borne CO₂ with an NaOH solution in a split plot completely randomized experimental design and three tar levels. There was formation of > 2.00 mm aggregates in A horizon independently of tar application. Differently, tar application provided higher aggregate formation in C horizon. The stability of > 2.00 mm was high in A horizon, but not in C. In neither the horizons, the application of tar caused differences in aggregate stability as compared with no-tar samples. There was increase in A horizon clay flocculation degree with tar application, but this did not happen in C horizon. CO₂ evolution was higher in A horizon and the 15 g tar provided the highest respiration values. For C horizon there was no difference between tar levels.

1. INTRODUÇÃO

As causas das perdas de solos são variadas, vão do uso de práticas agrícolas inadequadas à mineração, do desmatamento ao excesso de pastoreio e não cessam por aí. Geralmente, à perda da cobertura vegetal segue-se uma aceleração da oxidação da matéria orgânica e diminuição rápida nos teores da mesma. Sem a proteção da cobertura vegetal e da matéria orgânica morta, o solo fica exposto aos agentes da erosão, principalmente água e vento.

A matéria orgânica, viva ou morta, além da proteção mecânica contra os danos causados pela água, é agente importantíssimo na formação e estabilização dos agregados do solo, base essencial, juntamente com os poros, na formação da estrutura do solo. Além de permitir o crescimento dos sistemas radiculares de plantas, fornecendo condições adequadas de aeração e umidade, condições imprescindíveis também para a proliferação das meso- e microbiota do solo. Uma boa estrutura é capaz de prevenir a perda por erosão ao permitir a percolação da água eficientemente ao longo do perfil. Tornam-se claros os efeitos deletérios que a diminuição nos teores e a perda da matéria orgânica podem causar ao solo.

A forma mais eficiente de se acumular matéria orgânica em um solo, embora possa não ser a mais rápida, provavelmente é revegetação da área degradada, tentando-se reconstituir a sucessão ecológica de espécies. Áreas há, no entanto, em que os processos de deterioração do solo são tão avançados que se torna naturalmente impraticável a revegetação pura e simples, pelo fato de que o solo não mais oferece condições de sustentar vida vegetal. Sob tais condições, o aporte de matéria orgânica externa geralmente é boa solução para se iniciar o processo de recuperação da qualidade do solo, mormente no que tange a reconstituição dos teores de carbono orgânico, da atividade microbiana, da fertilidade, até certo ponto e, o que interessa aqui, da estrutura do solo.

A disponibilidade de materiais orgânicos que de outra forma constituiriam grave problema de disposição, de várias origens, principalmente procedentes de processo de sanitização de áreas urbanas, como lodo de

esgoto doméstico, da indústria, como subprodutos da fabricação de carvão, ou da própria atividade rural, como o esterco de criações de aves ou suínos, torna atraentes estudos que avaliem a possibilidade de uso destes materiais como melhoradores da qualidade do solo.

Além da capacidade de melhorar ou recuperar certos atributos desejáveis na recuperação de solos degradados, é interessante que o material apresente resistência e que mantenha por um tempo relativamente longo sua ação melhoradora. Materiais orgânicos de diferentes naturezas têm efeitos diferentes e de duração diversa sobre a agregação do solo (TISDALL & OADES, 1982). Materiais rapidamente disponíveis à ação microbiana comumente conferem, de forma rápida, estabilidade aos agregados, mas sua ação é efêmera. Substratos mais resistentes à decomposição agem de maneira mais vagarosa na estabilização de agregados, no entanto sua ação é mais duradoura.

O alcatrão é um subproduto da indústria carvoeira, com um altíssimo conteúdo de matéria orgânica e possui em sua composição uma quantidade considerável de compostos fenólicos. Os compostos fenólicos reconhecidamente conferem resistência à degradação microbiana à lignina, por exemplo, e seu conteúdo no solo geralmente se relaciona positivamente com a formação de agregados estáveis em água (GRIFFITHS & BURNS, 1972; DORMAAR, 1983). Caso se comprove a possibilidade de o alcatrão agir como formador e estabilizador de agregados, esta substância pode vir a se tornar forte alternativa a ser usada como melhoradora da estrutura do solo.

Objetivos

O ensaio visou avaliar a toxicidade do alcatrão sobre a microbiota do solo por meio de respirometria e o efeito da incubação de amostras dos horizontes A e C de um Latossolo Vermelho-Amarelo com alcatrão sobre seu estado de agregação determinando: formação de agregados, estabilidade de agregados e tempo de ação dos compostos bem como confirmar ou não a possibilidade de compostos fenólicos do alcatrão agirem na formação e estabilização de agregados não apenas como supressor da degradação microbiana de frações da matéria orgânica do solo com ação agregante, mas de o próprio alcatrão servir de formador e estabilizador de agregados do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Estrutura do Solo

Embora conceituar seja arriscar-se a limitar, a imposição de limites pode talvez facilitar a compreensão preliminar de certas idéias. OADES (1993) afirma que, de forma sintética, estrutura do solo pode ser entendida como o arranjo de partículas e poros nos solos. Entrando mais em detalhes, BAVER et al. (1963) explicam que partículas primárias tais como areia, silte e argila se ordenam de maneira a formar partículas secundárias (agregados) cujo arranjo em certos padrões estruturais, incluindo o espaço poroso, constituem o que se conceitua estrutura do solo. Indo um pouco além, OADES (1993) afirma que a estabilidade da estrutura deve também ser acrescentada àquelas definições porque este atributo não é estático.

Uma boa estrutura para o crescimento vegetal, segundo TISDALL & OADES (1982), depende da presença em quantidade adequada de agregados com dimensões variando de 1 a 10 mm que permaneçam estáveis quando molhados. Agregados instáveis, quando abruptamente umedecidos, quebram-se formando agregados menores. Estes pequenos agregados podem ser estáveis ou podem quebrar-se, formando unidades menores ou mesmo chegar ao ponto de dispersarem-se em partículas primárias, desenvolvendo características muitas vezes indesejáveis nos solos e podendo afetar negativamente o crescimento das plantas (TISDALL & OADES, 1982; OADES, 1984). LE BISSONNAIS (1996) sugere que os processos que levam à degradação da estrutura do solo são os seguintes: ruptura (*slaking*) de agregados submetidos à imersão em água ou ao molhamento rápido devido à pressão exercida pelo ar preso nos capilares no interior dos agregados; ruptura resultante da expansão e contração desiguais de solos argilosos sofrendo processos sucessivos de umedecimento e secagem; quebra mecânica do agregado pelo impacto da gota de chuva, mais acentuada em solos molhados porque os agregados estão mais fracos; e dispersão físico-química advinda da redução das forças de atração entre partículas de colóides do solo, influenciadas pela espessura da dupla camada difusa de íons e por isso

dependentes da concentração eletrolítica da solução do solo bem como da valência dos íons presentes.

2.2. Formação de agregados no solo

Apenas em solos nos quais a fração argila forma flóculos existe a possibilidade de formação de agregados estáveis e de uma posterior estruturação do solo (FONTES et al., 1992). A fração argila do solo por se encontrar, em grande parte, no estado coloidal apresenta algumas propriedades de superfície que permitem a afirmação de que é a fração ativa do solo; dentre estas propriedades o desenvolvimento de cargas elétricas é de fundamental importância para os processos de floculação e dispersão de argilas. Devido às cargas na superfície da partícula de argila forma-se ao redor desta uma nuvem de íons cuja espessura controla a aproximação entre partículas de colóide mineral: se pouco espessa promove a floculação, do contrário ocorrerá a dispersão (FONTES et al., 1992; GUERRA, 2000).

OADES (1993) afirma que os processos físicos de umedecimento e secagem são os principais agentes de formação da estrutura do solo, no entanto CHANEY & SWIFT (1986), tendo submetido amostras de solo a ciclos de umedecimento e secagem, bem como de congelamento e descongelamento, não observaram formação de agregados estáveis em água, embora tenham reconhecido que o movimento das partículas do solo e sua constante reorientação, causados por aqueles processos, certamente auxiliam na formação de agregados.

Para LE BISSONNAIS (1996) são três as propriedades do solo que têm papel fundamental na estabilidade de agregados: (i) porcentagem de sódio trocável; (ii) presença de óxidos de ferro e de alumínio com função cimentante principalmente em 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 (EMERSON, 1959; TISDALL & OADES, 1982; FONTES et al., 1992; LE BISSONNAIS, 1996; PICCOLO & MBAGWU, 1999).

2.3. Ação da matéria orgânica na formação e estabilização de agregados

A influência exercida pela matéria orgânica sobre a estrutura do solo é fato bem conhecido e extensamente estudado (EDWARDS & BREMNER, 1967; TISDALL & OADES, 1982; OADES, 1984, 1989 e 1993). O grande número de estudos, entretanto, não garantiu que houvesse consenso sobre o papel da matéria orgânica quer na formação quer na estabilização de agregados. De fato, há ainda dúvidas se a matéria orgânica considerada como um todo afeta mais a estrutura do solo ou se na verdade apenas algumas frações consideradas separadamente o fazem. Alguns pesquisadores, dentre os quais CHANEY & SWIFT (1984) e CHRISTENSEN (1986), por exemplo, encontraram boas correlações entre conteúdo total de matéria orgânica do solo e estabilidade de agregados, muitos outros, entretanto, constataram que determinadas frações da matéria orgânica se correlacionavam melhor com a estabilidade de agregados que a MO total (GRIFFITHS & BURNS, 1972; DORMAAR, 1983; CHANEY & SWIFT, 1984 e 1986; PICCOLO & MBAGWU, 1990).

TISDALL & OADES (1982) afirmam que a fração da matéria orgânica do solo responsável pela estabilização de agregados com diâmetro superior a 2000 μm varia de acordo com o conteúdo de matéria orgânica do solo. Em solos com mais de 2% de carbono orgânico estes agregados são mantidos estáveis por uma fina rede de raízes e hifas, enquanto nos solos com menos de 1% de carbono orgânico a ação estabilizadora é exercida provavelmente por carboidratos. Pelo fato de essa classe de agregados geralmente ser mantida estável por raízes e hifas de fungos micorrízicos, concluiu-se que é mais susceptível a ser afetada pelo manejo do solo. Para DEGENS (1997), a grande atenção dada aos macroagregados do solo se deve ao fato de que estes são sensíveis ao manejo do solo a curto prazo (menos de 2 anos).

Agregados de diâmetro inferior a 250 μm (microagregados) são geralmente muito estáveis em água. TISDALL & OADES (1982) atribuem sua estabilidade à ação aditiva de materiais cimentantes orgânicos e minerais persistentes, o que leva a que não sejam afetados pelo manejo do solo. Esses autores propõem que cada classe de agregados apresenta um agente

estabilizador orgânico dominante mas não exclusivo. A diferenciação destes agentes de agregação é feita de acordo com a facilidade com que são decompostos pela microbiota do solo, classificando-os em efêmeros, temporários e persistentes.

Os efêmeros são representados majoritariamente por materiais sensíveis à oxidação por periodato de sódio. Incluem-se polissacarídeos, que parecem originar-se fundamentalmente da decomposição de resíduos vegetais provocada por microrganismos do solo, embora mucilagens produzidas por raízes e hifas vesículo-arbusculares também exerçam papel estabilizador. Consideram-se agentes temporários as raízes de plantas vivas ou mortas, principalmente de gramíneas, e as hifas de fungos micorrízicos. Sua ação pode se dar pela produção de substrato orgânico prontamente decomponível quanto pela ação mecânica ao aproximar e juntar partículas de solo formando uma teia, ou emaranhado, ao redor dos agregados. São persistentes os materiais orgânicos humificados mais estáveis, mais resistentes a ulterior degradação biológica, em íntima associação com materiais da matriz mineral do solo aos quais geralmente estão ligados por meio de cátions metálicos polivalentes, bem como polissacarídeos tornados recalcitrantes pela associação com esses cátions (TISDALL & OADES, 1982).

Baldock et al. (1992), citados por SKJEMSTAD et al. (1998), usando espectroscopia por ressonância magnética nuclear, mostraram a seguinte divisão das frações orgânicas presentes em diferentes classes de agregados: a fração de 2,00 a 0,05 mm apresentou maior abundância em carboidratos, demonstrando a preponderância de material vegetal parcialmente decomposto; na fração de 0,05 a 0,002 mm prepondera material de maior aromaticidade e menor relação carbono/nitrogênio, sugerindo a presença de material lignínico, mais recalcitrante que os carboidratos; a fração menor que 0,002mm apresentou material orgânico de origem microbiana, proteináceo, com relação C/N baixa e altas concentrações de carbono alquila.

CHANEY & SWIFT (1984), estudando as correlações entre matéria orgânica e estabilidade de agregados, observaram que em um particular grupo de solos de fraca estrutura os carboidratos eram mais importantes (se correlacionavam melhor) que materiais humificados na estabilização de sua

estrutura. Na maior parte dos solos por eles estudados, entretanto, houve boas correlações entre estabilidade de agregados e matéria orgânica humificada. Afirmam os mesmos autores que as substâncias húmicas menos oxidadas, de maior peso molecular, as quais tendem a estar fortemente adsorvidas às partículas minerais parecem ser mais importantes no processo de estabilização de agregados do que as frações mais oxidadas e de menor peso molecular (CHANEY & SWIFT, 1984).

A relação existente entre a presença de polissacarídeos no solo e a melhoria no estado de agregação já há bastante tempo é conhecida (RENNIE et al., 1954; ACTON et al., 1963). Entretanto há muito se sabe que o efeito exercido pelos polissacarídeos é efêmero, porque embora sejam substâncias rápida e continuamente produzidas, sua degradação também é rápida (TISDALL & OADES, 1982). Substratos orgânicos prontamente disponíveis à decomposição microbiana como a glicose, por exemplo, promovem a formação de agregados estáveis em água de forma bastante rápida porém efêmera porque estes cimentos orgânicos são prontamente decompostos. Substratos mais resistentes à decomposição microbiana como a celulose, por exemplo, promovem um aumento lento da estabilidade de agregados que pode, no entanto, persistir por meses (OADES, 1984).

PICCOLO & MBAGWU (1999) sugerem que a matéria orgânica pode 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 retardaria a entrada de água nos agregados minimizando os efeitos do molhamento brusco. Estes pesquisadores afirmam que a ação dos componentes hidrofóbicos da matéria orgânica do solo (MOS) (segundo eles 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. Por isso, o efeito estabilizador destes compostos deve ser de mais longa duração do que compostos de natureza mais hidrofílica, como os carboidratos, que são mais facilmente biodegradáveis e podem encontrar-se livres na solução do solo (PICCOLO & MBAGWU, 1999).

Uma significativa correlação entre estabilidade de microagregados e conteúdo de substâncias húmicas (ácidos húmicos apenas e, também, ácidos húmicos+ácidos fúlvicos) foi encontrada por PICCOLO & MBAGWU (1990) corroborando a observação de DORMAAR (1983) de que o cultivo do solo aumentou a quantidade de microagregados e os valores da relação ácido húmico/ácido fúlvico. Ainda PICCOLO & MBAGWU (1990) afirmam ser válido esperar que quanto maior o peso molecular médio dos compostos em resíduos orgânicos aplicados ao solo, maior a capacidade de estabilizar agregados. DORMAAR (1983), avaliando as propriedades químicas de agregados após 67 anos de cultivo com trigo, comparando-os com agregados do mesmo solo sob uma área de pastagem nativa, observou que carbono orgânico, polissacarídeos, poliuronídeos, fenóis e matéria orgânica extraível com clorofórmio/metanol estavam todos associados com agregados de diâmetro superior a 250 µm, agregados cuja estabilidade em água era efêmera. Constatou também que a quantidade de agregados com diâmetro inferior a 250 µm aumentava com o cultivo bem como a proporção da fração areia nestes agregados e a relação ácido húmico/ácido fúlvico, tendo sugerido que as partículas de areia nesta fração de agregados estariam sendo cimentadas pelos ácidos húmicos (DORMAAR, 1983).

Visando desenvolver possíveis técnicas de aumentar a persistência da agregação induzida por polissacarídeos do solo GRIFFITHS & BURNS (1972) conceberam o uso de compostos fenólicos (de reconhecida ação microbicida) para retardar a degradação dos polissacarídeos e aumentar o tempo de ação dos mesmos na estabilização de agregados. Como esperado, os agregados tratados com polissacarídeos e ácido tânico (composto fenólico) apresentaram maior estabilidade. Para surpresa dos autores, entretanto, houve aumento também na estabilidade de agregados tratados apenas com ácido tânico, o que descartaria a possibilidade de o composto fenólico estar apenas protegendo os carboidratos do ataque microbiano (GRIFFITHS & BURNS, 1972).

2.4. Alcatrão

A produção de carvão vegetal possibilita a formação de subprodutos, condensáveis e não condensáveis. O alcatrão vegetal é um dos subprodutos condensáveis da produção de carvão vegetal (MACIEL, 1989).

A partir das diversas alterações sofridas principalmente pelos constituintes primários da madeira (hemiceluloses e celulose) durante o processo de carbonização, obtém-se o líquido pirolenhoso, o qual, quando decantado, resulta em duas frações distintas: um sobrenadante, o ácido pirolenhoso; e o alcatrão insolúvel, que é um líquido viscoso e de cor escura. Segundo MACIEL (1989), o alcatrão é derivado principalmente da lignina e apresenta caráter fenólico. Apesar de dificuldades na determinação precisa da composição química do alcatrão (MACIEL, 1989), muitos dos seus constituintes estão bem identificados, entre os quais parece merecer destaque os compostos fenólicos, que podem responder por até 50% da composição total do alcatrão (PIMENTA, 1991).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio constituiu-se de duas etapas distintas:

3.1. Experimento 1

3.1.1. Incubação do solo com alcatrão

3.1.1.1. Solo

As amostras de solo utilizadas pertenciam a horizontes A e C de um Latossolo Vermelho-Amarelo proveniente de barranco nas cercanias do Tiro de Guerra no município de Viçosa, Minas Gerais. A caracterização física foi feita determinando-se:

- Análise textural de solos por metodologia descrita em EMBRAPA (1997) ;
- Densidade de partículas também segundo EMBRAPA (1997);
- Densidade do solo, determinada adicionando-se 10 g de solo em uma proveta de volume conhecido até o menisco, após o que a amostra era posta para agitar por um período de 5 (cinco) minutos, verificando-se então qual o volume ocupado pelo solo, calculando-se em seguida a densidade. (Quadro 1).

A caracterização química do solo foi realizada segundo metodologias propostas pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999).

A determinação do pH foi feita através de leitura em potenciômetro, na suspensão de solo e água, na razão de 1:2,5.

Para determinação dos teores de fósforo e potássio foi usado o extrator de Mehlich 1 (H_2SO_4 0,025 mol L⁻¹ + HCl 0,05 mol L⁻¹). A relação solo/solução extratora foi de 1:10 (10 cm³ de solo para 100 mL de solução extratora).

O alumínio, o cálcio e o magnésio trocáveis foram extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹ usando-se, também a relação de 1:10 (10 cm³ de solo para 100 mL de solução extratora).

Para a determinação da acidez potencial (H+Al) utilizou-se uma solução de acetado de cálcio 0,5 mol L⁻¹ tamponada em pH 7,0 na relação de 5 cm³ de

TFSA: 75 mL de extrator, com 10 min de agitação e 16 h de decantação, (Quadro 2).

3.1.1.2. Tratamentos

Antes do início do período de incubação, as amostras de solo foram deixadas por um período de duas semanas em contato com o ar visando a secagem e a proliferação de microorganismos nas mesmas.

Os tratamentos foram representados pela incubação do solo por um período de noventa (90) dias com duas (2) doses de alcatrão: 15 g de alcatrão por quilograma de solo e 45 g de alcatrão por quilograma de solo além do tratamento testemunha (sem alcatrão). As amostras de solo provieram dos horizontes A e C de Latossolo, destorroados e passados em peneira de malhas de 2 mm e mantidas a 90% da capacidade de campo do solo ao longo do experimento.

3.1.1.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, num esquema fatorial 3 (doses de alcatrão) x 2 (horizontes) com três (3) repetições. A unidade experimental foi composta de um saco plástico contendo 2 kg de solo incubado.

A análise estatística dos dados foi feita pela análise de variância e as médias de tratamentos foram comparadas usando-se o teste de Tukey.

3.1.1.4. Procedimento experimental

Após peneiradas e secadas, as amostras de solo foram pesadas e acondicionadas nos vasos plásticos. De cada vaso, então, retiraram-se 15g de solo que se pôs em placas de Petri. Sobre estas sub-amostras aplicaram-se as doses de alcatrão por pesagem, retornando-as aos vasos com solo e homogeneizando-se as amostras. Este procedimento foi utilizado devido à dificuldade de se manusear o alcatrão, que facilmente se prende às paredes de

pipetas, por exemplo, impossibilitando a aplicação de volumes exatos. Depois de homogêneas com alcatrão, as amostras foram umedecidas até 90% da capacidade de campo e novamente homogêneas. Para evitar o secamento rápido, as unidades experimentais foram envolvidas com sacos plásticos transparentes fechados, tendo-se o cuidado de fazer vários pequenos furos para permitir a evaporação e as trocas gasosas.

3.1.1.5. Determinações físicas

Utilizaram-se amostras de solo provenientes de horizontes A e C de um Latossolo Vermelho-Amarelo passadas em peneiras de 2 mm e destorroadas nas quais se fizeram as seguintes determinações:

- Estabilidade de agregados: para a análise de agregados via seca, procedeu-se a separação dos agregados da amostra, separando-os através de um agitador por um período de 10 minutos em peneiras de 4,76 - 2,0 - 1,0 e 0,5 mm.

Foram utilizadas as seguintes classes de tamanho, a partir dos tamanhos de peneiras acima: 4,76 mm; 4,76 - 2,00 mm; 2,00 - 1,00 mm; 1,00 - 0,50 mm e < 0,50 mm.

O material retido em cada peneira foi pesado e determinou-se a distribuição dos agregados do solo.

- Para a análise dos agregados via úmida tomaram-se 25 g de agregados da classe de tamanho 4,76 - 2,00 mm, umedecidos rapidamente. Na determinação via umedecimento rápido, a amostra foi levada diretamente ao oscilador mecânico (Yoder), permanecendo por 15 minutos, retendo o material nas peneiras de 2,000 - 1,000 - 0,500 - 0,250 e 0,105 mm. A transferência dos agregados retidos em cada peneira para latas de alumínio foi feita com auxílio de piseta, sendo levados à estufa à temperatura de 105 °C, por 24 h, para determinação das massas secas de cada amostra e posterior determinação das porcentagens em cada classe. Tomou-se uma subamostra de agregados (4,76 – 2,0 mm) de ± 10 g e determinou-se sua umidade, com finalidade de se corrigir o peso da amostra de 25 g para peso seco em estufa. Em seguida,

foram calculados os resultados para cada classe de agregados, expressando-os em porcentagem (EMBRAPA, 1997).

- O grau de floculação de argila foi determinado a partir da expressão:

$$\frac{(Argila - Argilad)}{Argila} \times 100$$

onde: Argila = argila total;

Argilad = argila dispersa em água;

100 = transformação do resultado para %.

3.1.1.6. Determinações químicas

O carbono orgânico total do solo foi determinado pelo método de YEOMANS & BREMNER (1988). As amostras de solo foram trituradas em almofariz, em seguida pesou-se 0,3g por amostra e colocando-as em tubos de ensaio de 100 mL para bloco digestor. Adicionaram-se 5 ml de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) a 0,167 mol/L e 7,5 mL de H_2SO_4 concentrado por amostra. Em seguida, os tubos foram colocados no bloco digestor a 170°C por 30 minutos, e o seu conteúdo transferido para becker de 100 mL, usando água destilada para elevar o volume para 50 mL. Deixou-se esfriar até temperatura ambiente e adicionou-se 10 mL de H_3PO_4 concentrado, uma pitada de NaF e 0,3 mL (5 a 8 gotas) de solução indicadora (ferroin). Em seguida, fez-se a titulação com sal de Mohr (sulfato ferroso), considerando o ponto de virada quando ocorreu a mudança da cor verde para vermelha.

O conteúdo de carbono orgânico (CO) das amostras foi calculado pelo volumes gastos em mL na titulação (solução de mohl) das referidas amostras (S), do branco aquecido (BA), e do branco não aquecido (B), pela seguinte equação:

$$CO = \frac{(A) (Conc.de Mohr)(0,003) (100)}{\text{Peso da amostra (g)}}$$

Onde: A = [(BA – S)(B - BA)/B] + (BA - S);

CO = carbono orgânico em (dag/kg);

0,003=peso equivalente do carbono;

100 = transformação do resultado para %.

3.2. Experimento 2

3.2.1. Respirometria

Avaliou-se a toxicidade do alcatrão sobre a atividade microbiana do solo, utilizando-se metodologia descrita em SOUZA (1998), à temperatura ambiente pelo método da captura em solução de NaOH do CO₂ emanado do solo, sob um sistema de fluxo contínuo (Figura 1). Este ensaio foi realizado utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos (doses de alcatrão: T1: 0 g de alcatrão por 100 g de solo; T2: 1,50 g/100 g; T3: 3,0 g/100 g; e T4: 4,5 g de alcatrão por 100 g de solo) e três repetições. Cada repetição foi constituída de uma amostra de 100 g de solo, a qual foi colocada em erlenmeyer de 250 mL, ao qual se adicionou água até atingir uma umidade correspondente a 90% da capacidade de campo do solo. Os erlenmeyers foram então conectados a um sistema de fluxo contínuo de ar livre de CO₂, de forma que o ar que passava pela amostra de solo era canalizado para um erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL de NaOH a 0,25 mol L⁻¹. A vazão do fluxo de ar no erlenmeyer com o NaOH foi ajustada para 2 mL min⁻¹. As titulações foram realizadas semanalmente depois de iniciado o fluxo de ar, após as quais os erlenmeyers eram vedados e substituídos por novos. A titulação do hidróxido de sódio que não reagiu foi feita com solução de HCl 0,1 mol L⁻¹, previamente padronizado com solução de Na₂CO₃ a 0,5 mol L⁻¹. A seguinte equação foi usada para expressar a evolução de CO₂:

$$C_{molCO_2 \text{ dm}^{-3} \text{ de solo}} = \frac{(B - T) \times N \times f \times V}{AT}$$

Onde:

B = titulação do branco (mL)

T = titulação do tratamento (mL)

N = normalidade de HCl (mol_c L⁻¹)

f = fator de correção do ácido

V = volume de NaOH usado na captura do CO₂

AT = alíquota a ser titulada (mL) (SOUZA, 1998).

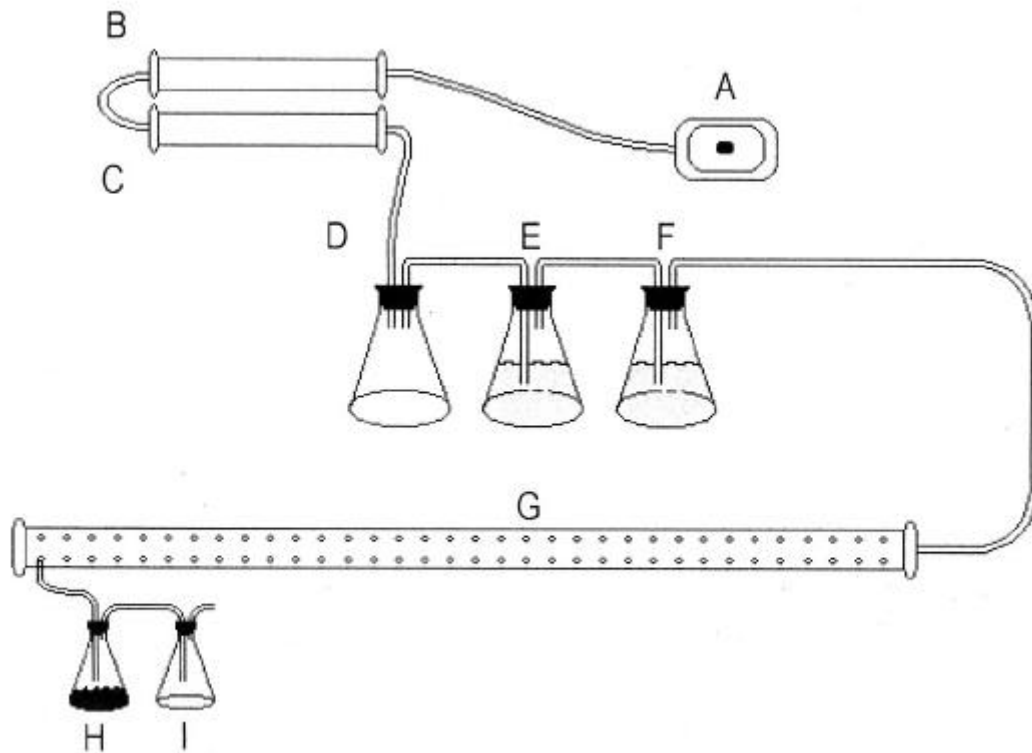


Figura 1. Sistema de fluxo contínuo para determinação da evolução de CO₂ do solo. A: bomba; B: CaSO₄; C: NaOH; D: refluxo; E: NaOH 1 M; F: Ba(OH)₂ 1%; G: linha de distribuição de ar; H: amostra de solo (100 g); I: NaOH 0,25 M. (Fonte: SOUZA, 1998).

Quadro 1. Análise física de dois horizontes de um Latossolo Vermelho-Amarelo.

Granulometria				Densidade	
Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Solo	Partículas
-----%-----				-----g.cm ⁻³ -----	
Horizonte A					
23,46	8,09	5,35	63,09	0,93	2,53
Horizonte C					
15,90	7,30	2,25	74,55	0,90	2,69

Quadro 2. Caracterização química de dois horizontes de um Latossolo Vermelho-Amarelo.

pH*	P	K	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al ³⁺	Al ³⁺	SB	t	T	V	m
	---mg.dm ⁻³ ---		-----cmol _c .dm ⁻³ -----							-----%-----		
Horizonte A												
4,2	1,4	43	0,00	0,50	0,11	13,7	1,68	0,72	2,40	14,42	5	70
Horizonte C												
5,0	0,1	8	0,00	0,08	0,02	2,3	0,00	0,12	0,12	2,42	5	0,00

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Formação de agregados no solo

Na Figura 2 pode-se observar a distribuição percentual dos agregados em cinco classes nos horizontes A e C incubados com diferentes doses de alcatrão. No horizonte A, a adição de alcatrão não alterou a distribuição de agregados nas classes de diâmetro avaliadas em relação ao tratamento testemunha e isto foi confirmado pela análise estatística dos resultados, (Quadro 3). Observa-se que houve formação de agregados na classe de 2,00-4,76 mm nos três tratamentos e que os resultados foram estatisticamente iguais, independente da aplicação do alcatrão. No horizonte A, a formação de agregados > 4,76 mm foi desprezível.

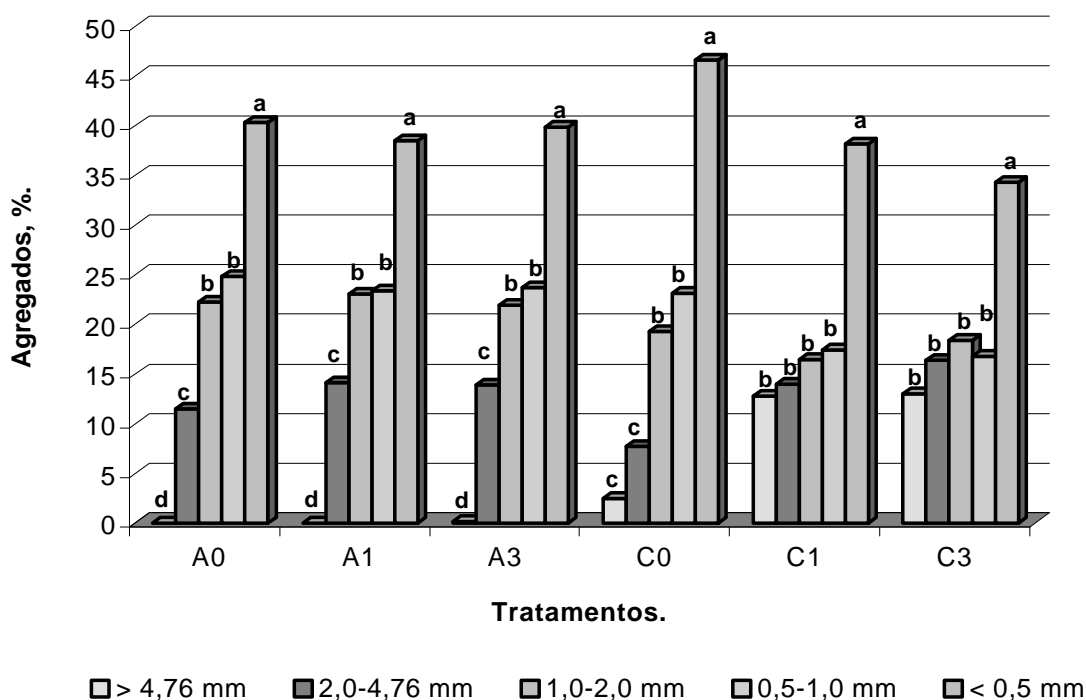


Figura 2. Distribuição de agregados de dois horizontes de um Latossolo Vermelho-Amarelo incubado com diferentes doses de alcatrão. Para um mesmo solo, dentro da mesma dose de alcatrão, as colunas encimadas pela mesma letra não diferem estatisticamente, a 5% de probabilidade.

No horizonte C observa-se que houve aumento significativo do percentual de agregados das classes de 2,00 – 4,76 mm e > 4,76 mm, acompanhado de um decréscimo no percentual de agregados nas outras classes, notadamente na classe de agregados < 0,50 mm, que serviram de constituintes para os agregados maiores.

As amostras de solo, antes da incubação, foram passadas em peneira de malha < 2,00 mm. No horizonte A, independente da aplicação de alcatrão ou sua ausência, houve formação de agregados > 2,00 mm. A formação de agregados na classe de tamanho 2,00-4,76 mm, no horizonte A, é resultado, principalmente, da ação da matéria orgânica nativa deste horizonte. As diferenças no horizonte C, entretanto, são mais facilmente observáveis e inclusive, como já foi dito, apresentando diferenças estatísticas em relação à testemunha. Embora a formação de agregados > 4,76 mm no horizonte A tenha sido insignificante e muito menor que no horizonte C, a diferença na distribuição de agregados na classe de 2,00-4,76 mm entre os dois horizontes não foi estatisticamente significativa (Quadro 3).

Vários trabalhos correlacionam positivamente a formação de agregados com o teor de carbono no solo (TISDALL & OADES, 1982; OADES, 1984; PICCOLO & MBAGWU, 1990). Como se verá adiante, houve aumento no conteúdo de carbono orgânico em ambos os horizontes, porém apenas no horizonte C houve formação significativamente superior de agregados > 2,00 mm com a adição de alcatrão. Observar-se-á, a seguir, que no horizonte C, o aumento relativo do teor de carbono orgânico ao solo, após a aplicação de alcatrão, foi maior que no horizonte A, provavelmente devido à virtual ausência de atividade microbiana naquele horizonte, como será mostrado na Figura 7. Assim, a manutenção do alcatrão em contato com o solo com uma taxa mínima de decomposição, no horizonte C, favoreceu a formação de agregados das classes de 2,00-4,76 mm e > 4,76 mm em quantidades significativamente maiores do que nas amostras que não receberam alcatrão e também do que no horizonte A, no qual a degradação microbiana permitiu aumentos relativamente menores no teor de carbono orgânico e conseqüentemente um menor tempo de contato entre o alcatrão e o solo. A formação de agregados > 2,00 mm

aparentemente se deveu mais à ação da matéria orgânica nativa do que à adição de alcatrão às amostras de solo do horizonte A.

Quadro 3. Resumo da análise de variância dos dados referentes à distribuição de agregados de dois horizontes de um Latossolo Vermelho-Amarelo incubados com diferentes doses de alcatrão. Solos: S₁: horizonte A; S₂: horizonte C. Doses: D₁: 0 g alcatrão/100 g de solo; D₂: 1,5 g alcatrão/100 g de solo; D₃: 4,5 g alcatrão/100 g de solo. Classes: 1: > 4,76 mm; 2: 2,0-4,76 mm; 3: 1,0-2,0 mm; 4: 0,5-1,0 mm; 5: < 0,5 mm.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio				
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Solos (S)	1	393,5483**	1,0287ns	85,9141**	106,0567**	0,0923ns
Doses (D)	2	54,7342**	51,7129**	1,4529ns	26,4750**	68,5457*
S x D	2	53,0641**	14,9015ns	5,9140*	11,3856*	52,7629ns
S x D1	1	9,2547ns	21,5353ns	12,7769**	4,4411ns	59,5877ns
S x D2	1	246,2074**	9,2706ns	18,9828**	71,3080**	45,8525ns
S x D3	1	244,2144**	0,0259ns	65,9823**	53,0789**	0,1779ns
D x S1	2	0,0244ns	6,3641ns	1,0889ns	1,7348ns	2,6230ns
D x S2	2	107,7739**	60,2504**	6,2779*	36,1258**	118,6856**
Erro	14	2,9026	7,3787	1,3500	1,9111	14,1407
C.V. (%)		35,997	21,037	5,749	6,423	9,498

ns: não significativo.

*: significativo pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

** : significativo pelo teste F, em nível de 1% de probabilidade.

4.2. Estabilidade de agregados e grau de flocculação de argilas

A análise de estabilidade de agregados foi feita usando-se apenas os agregados da classe de 2,00-4,76 mm. Os dados relativos à estabilidade de agregados em água são apresentados na Figura 3, onde é possível observar-se que, independente da aplicação ou não do alcatrão, cerca de 80% dos agregados > 2,00 mm do horizonte A submetidos ao teste de estabilidade mantiveram-se incólumes, os restantes cerca de 20% sofreram quebra, tendo boa parte, ao redor de 10%, mantido com diâmetros variando de 1,00 a 2,00 mm. É preciso ressaltar que houve formação de agregados estáveis > 2,00 mm, já que o material de solo inicial foi passado em peneira < 2,00 mm. As condições em que o experimento foi montado foram favoráveis à formação de tais agregados, independentemente da adição de alcatrão.

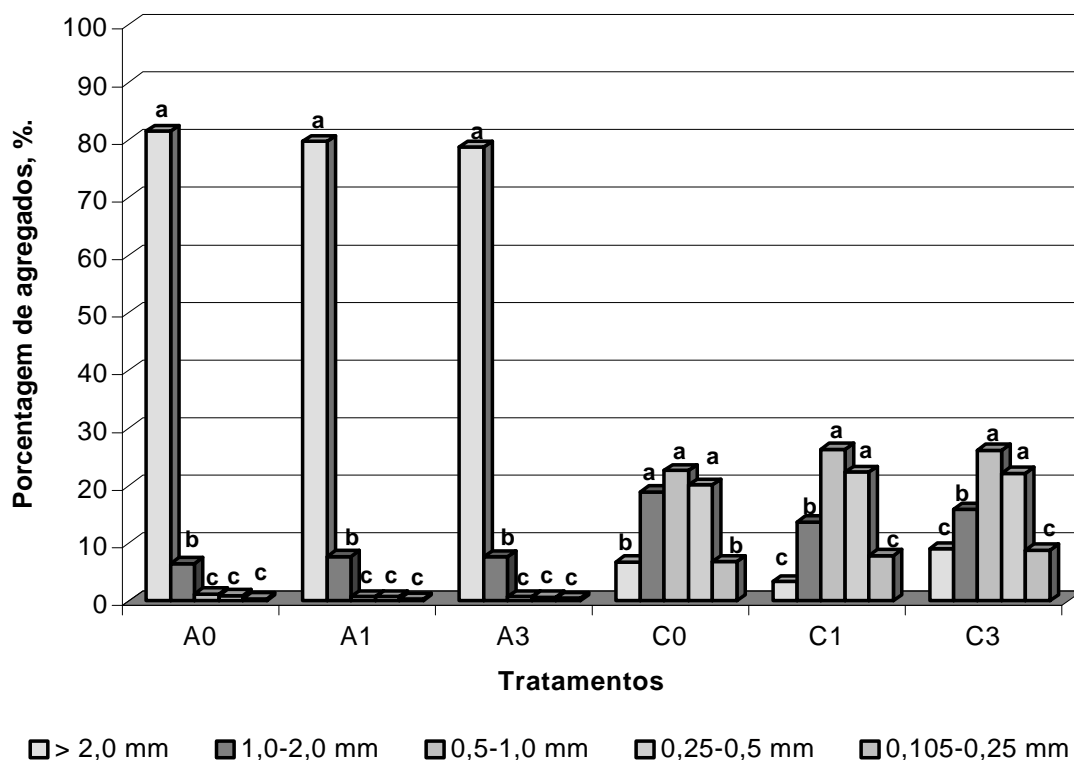


Figura 3. Estabilidade de agregados de dois horizontes de um Latossolo Vermelho-Amarelo incubado com diferentes doses de alcatrão. Para um mesmo solo, dentro da mesma dose de alcatrão, as colunas encimadas pela mesma letra não diferem estatisticamente, a 5% de probabilidade.

No horizonte C, à semelhança do horizonte A, não houve diferenças entre os resultados dos tratamentos que receberam alcatrão, nem entre si nem em relação ao tratamento testemunha, (Quadro 4). Nesse horizonte, a estabilidade dos agregados > 2,00 mm foi muito baixa, tendo mais de 90% deles se subdividido em agregados menores (Figura 3). A maior parte da massa de agregados do horizonte C, após submetidos à análise de estabilidade, se concentrou nas classes de 0,25 a 2,00 mm.

Inúmeros trabalhos afirmam que a matéria orgânica confere estabilidade aos agregados do solo, entre os quais EDWARDS & BREMNER (1967), GREENLAND (1971), TISDALL & OADES (1982), DORMAAR (1983), OADES (1984), PICCOLO & MBAGWU (1990 e 1999), entretanto nem todos informam o tempo necessário para que isso ocorra nem qual a duração da ação estabilizadora. TISDALL & OADES (1982), revisando a ação de diferentes

frações da matéria orgânica sobre a estabilidade de agregados fazem notar que substratos orgânicos prontamente decomponíveis, como a glicose, promovem a estabilização de agregados à água de maneira bastante rápida, porém efêmera, porque estas “colas” orgânicas são rapidamente decompostas, desaparecendo logo a estabilidade por elas conferida. Substratos mais recalcitrantes à decomposição microbiana, como celulose e lignina, promovem um aumento vagaroso da estabilidade de agregados, mas a ação estabilizadora destes compostos pode ser de longa persistência (TISDALL & OADES, 1982).

De acordo com PIMENTA (1991), o alcatrão pode conter em sua composição até 50% de derivados fenólicos. Segundo TAIZ & ZEIGER (1991), a resistência da lignina à ação decompositora da microbiota se deve em grande parte à riqueza em compostos fenólicos em sua composição, os quais são tóxicos aos microorganismos (GRIFFITHS & BURNS, 1972). É de se supor que a abundância em compostos fenólicos no alcatrão confira-lhe relativa recalcitrância pelo provável efeito tóxico (o que se pode inferir também pelos resultados da respirometria, a serem discutidos) e que o tempo de incubação do solo com o alcatrão (90 dias) não tenha sido suficiente para estabilizar os agregados, como sugerem os resultados mostrados por TISDALL & OADES (1982), apesar de GRIFFITHS & BURNS (1972) terem obtido estabilização de agregados utilizando uma outra substância rica em compostos fenólicos, o ácido tânico, em apenas três semanas, com a ressalva de que juntamente com o ácido tânico eles utilizaram polissacarídeos de fácil decomposição no tratamento do solo.

Embora a aplicação do alcatrão não tenha alterado quer negativa quer positivamente a estabilidade de agregados em quaisquer dos horizontes ou doses avaliados, o grau de floculação de argilas (Figura 4) do horizonte A aumentou significativamente (Quadro 5) com a adição de alcatrão ao solo, notadamente na classe de agregados de 1,00-2,00 mm. No horizonte C o grau de floculação em todas as classes de agregados, independente do tratamento, foi de cerca de 100%.

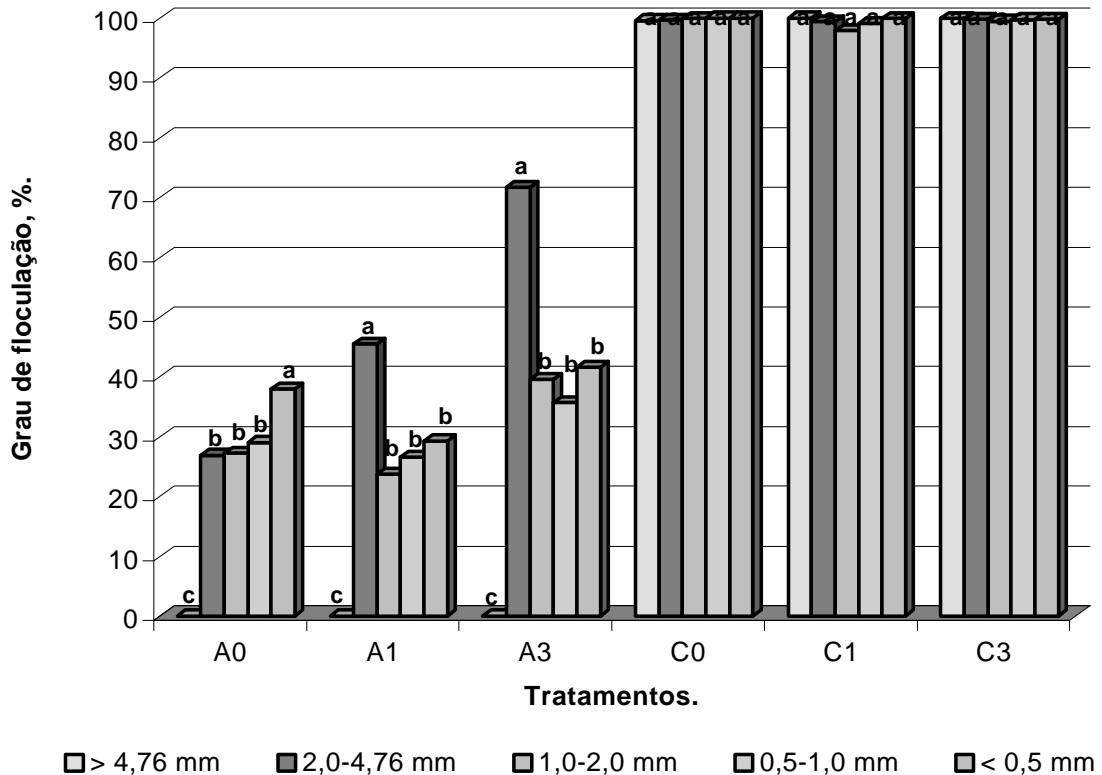


Figura 4. Grau de floculação de argilas de dois horizontes de um Latossolo Vermelho-Amarelo incubado com diferentes doses de alcatrão. Para um mesmo solo, dentro da mesma dose de alcatrão, as colunas encimadas pela mesma letra não diferem estatisticamente, a 5% de probabilidade.

O grau de floculação de argilas é inversamente proporcional à quantidade de argila dispersa em água e é uma importante característica indicadora da qualidade estrutural do solo (BORGES et al., 1997). Quanto mais alto o grau de floculação, menor o risco de problemas como dispersão e conseqüente desagregação do solo, com os problemas daí decorrentes (GUERRA, 2000). O fato de ter ocorrido aumento no grau de floculação de argilas no horizonte A com a adição de alcatrão indica uma melhoria em seu estado de agregação, ainda que não tenha sido detectada diferença quer na formação quer na estabilidade de agregados decorrentes da aplicação do alcatrão neste horizonte. A argila no horizonte C naturalmente mostrou um alto grau de floculação e o alcatrão em nada influenciou isto, o que indica que são propriedades intrínsecas ao horizonte influenciando a floculação.

Quadro 4. Resumo da análise de variância dos dados referentes à estabilidade de agregados de dois horizontes de um Latossolo Vermelho-Amarelo incubados com diferentes doses de alcatrão. Solos: S₁: horizonte A; S₂: horizonte C. Doses: D₁: 0 g alcatrão/100 g de solo; D₂: 1,5 g alcatrão/100 g de solo; D₃: 4,5 g alcatrão/100 g de solo. Classes: 1: > 2,0 mm; 2: 1,0-2,0 mm; 3: 0,5-1,0 mm; 4: 0,25-0,5; 5: 0,105-0,25 mm.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio				
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Solos (S)	1	24367,74**	355,0166**	2621,86**	1941,33**	249,99**
Doses (D)	2	12,8278*	5,9553ns	5,05ns	1,73ns	1,60ns
S x D	2	18,3329*	16,5152ns	8,64ns	2,79ns	1,56ns
S x D ₁	1	8380,85**	233,9152**	684,73**	552,79**	61,50**
S x D ₂	1	7278,42**	100,9055**	973,30**	692,11**	106,95**
S x D ₃	1	8745,13**	53,2264*	981,11**	702,01**	84,66**
D x S ₁	2	6,10ns	1,5797ns	0,24ns	0,06ns	0,00ns
D x S ₂	2	25,05**	20,8909ns	13,46ns	4,46ns	3,16ns
Erro	14	2,86	6,6770	4,51	1,95	5,94
C.V. (%)		3,922	21,999	16,387	12,528	59,168

ns: não significativo.

*: significativo pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

** : significativo pelo teste F, em nível de 1% de probabilidade.

Quadro 5. Resumo da análise de variância dos dados referentes ao grau de floculação de argila de dois horizontes de um Latossolo Vermelho-Amarelo incubados com diferentes doses de alcatrão. Solos: S₁: horizonte A; S₂: horizonte C. Doses: D₁: 0 g alcatrão/100 g de solo; D₂: 1,5 g alcatrão/100 g de solo; D₄: 4,5 g alcatrão/100 g de solo.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio
		Grau de Floculação
Solo (S)	1	112263,8998**
Dose (D)	2	440,2474**
S x D	2	420,1308**
S x D ₁	1	42883,0000**
S x D ₂	1	41363,0000**
S x D ₃	1	28857,0000**
D x S ₁	2	858,9563**
D x S ₂	2	1,4219ns
Erro	14	6,4968
C.V. (%)	3,9638	

ns: não significativo.

*: significativo pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

** : significativo pelo teste F, em nível de 1% de probabilidade.

4.3. Carbono orgânico do solo

Na Figura 5 estão apresentados os valores de teor de carbono orgânico nas diferentes classes de agregados para os horizontes A e C incubados com diferentes doses de alcatrão. Tanto para o horizonte A quanto para o C os teores de carbono aumentaram com o incremento da quantidade de alcatrão adicionada ao solo em todas as classes de agregados e estes aumentos foram estatisticamente significativos (Quadro 6).

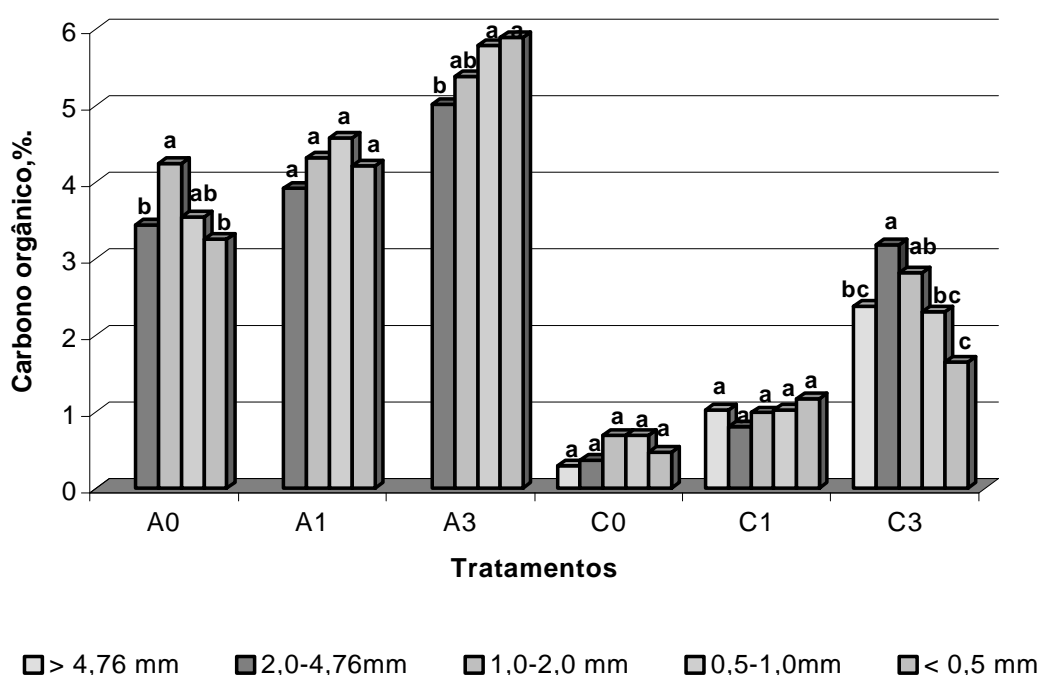


Figura 5. Carbono orgânico de dois horizontes de um Latossolo Vermelho-Amarelo incubado com diferentes doses de alcatrão. Para um mesmo solo, dentro da mesma dose de alcatrão, as colunas encimadas pela mesma letra não diferem estatisticamente, a 5% de probabilidade.

Os valores do conteúdo de carbono orgânico foram significativamente maiores no horizonte A que os obtidos em amostras de solo do horizonte C, devido aos teores iniciais de carbono em cada horizonte, maiores no A e bem inferiores no C. Entretanto, o aumento relativo no conteúdo de carbono proporcionado pela adição de alcatrão foi maior no horizonte C que no horizonte A. Enquanto a aplicação de 1,5 g de alcatrão/100 g de solo, que corresponde à aplicação de 22,62 t ha⁻¹ de carbono, considerando-se um teor

de 58% de carbono no alcatrão e uma densidade do solo de $1,3 \text{ g cm}^{-3}$, proporcionou um acréscimo médio de 1,18 vez no teor de carbono em relação à testemunha no horizonte A, no horizonte C a aplicação da mesma dose de alcatrão proporcionou um acréscimo médio de 2,21 vezes no conteúdo de carbono. A aplicação de 4,5 g de alcatrão/100 g de solo, correspondendo à quantidade de carbono aplicada de $67,86 \text{ t ha}^{-1}$, propiciou incrementos médios no teor de carbono orgânico do solo da ordem de 1,54 vez para o horizonte A e de 5,53 vezes para o horizonte C, também em relação ao tratamento testemunha. O aumento médio no conteúdo de carbono proporcionado pela maior dose de alcatrão em relação à menor dose foi de 1,29 vez e de 2,55 vezes para os horizontes A e C, respectivamente.

VETTERLEIN & HÜTTL (1999) calcularam que seriam necessárias 60 t ha^{-1} de lodo de esgoto com conteúdo de matéria orgânica de 50% para aumentar o conteúdo de matéria orgânica em 1% nos 20 cm superficiais do solo, considerando-se uma densidade de $1,5 \text{ g cm}^{-3}$, sem se levar em conta a decomposição. O alcatrão utilizado neste trabalho apresentou um conteúdo médio de 99% de matéria orgânica, o que explica o significativo aumento no teor de carbono orgânico para ambos os horizontes, sob as condições em que o ensaio foi conduzido. É improvável que em situação de campo os aumentos seriam da mesma ordem dos que foram observados no experimento. Delschen & Necker (1996) citados por VETTERLEIN & HÜTTL (1999) relataram aumento de 0,6% no conteúdo de matéria orgânica do solo após a aplicação de $77 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de lodo de esgoto por 21 anos em área agrícola sob clima temperado.

É possível que o comportamento de acumulação de carbono do horizonte A aqui observado reflita melhor o que aconteceria numa situação de campo. Apesar de as quantidades de alcatrão aplicadas aos dois horizontes terem sido iguais, o aumento relativo no teor de carbono orgânico foi menor para esse horizonte do que para o horizonte C. Certamente a ação decompositora da microbiota foi responsável por isso e será demonstrado adiante que a atividade microbiana do horizonte A foi maior que a do horizonte C.

Quadro 6. Resumo da análise de variância dos dados referentes aos teores de carbono orgânico de dois horizontes de um Latossolo Vermelho-Amarelo incubados com diferentes doses de alcatrão. Solos: S₁: horizonte A; S₂: horizonte C. Doses: D₁: 0 g alcatrão/100 g de solo; D₂: 1,5 g alcatrão/100 g de solo; D₃: 3,0 g alcatrão/100 g de solo; D₄: 4,5 g alcatrão/100 g de solo.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio
		Carbono Orgânico
Solo (S)	1	75,8136**
Dose (D)	2	16,0271**
S x D	2	0,3381ns
S x D ₁	1	28,6711**
S x D ₂	1	28,8467**
S x D ₃	1	18,9720**
D x S ₁	2	5,9574**
D x S ₂	2	10,4078**
Erro	14	0,2339
C.V. (%)	19,74	

ns: não significativo.

*: significativo pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

** : significativo pelo teste F, em nível de 1% de probabilidade.

4.4. Respirometria

Na Figura 6, observa-se a evolução de CO₂ do horizonte A incubado com diferentes doses de alcatrão durante seis semanas. É possível notar-se que no tratamento testemunha, ao qual não se adicionou alcatrão, a evolução de CO₂ teve comportamento semelhante à dose dos tratamentos que receberam as doses mais altas da substância, 3,0 g e 4,5 g de alcatrão/100 g de solo, semelhança que se manteve ao longo das seis semanas de avaliação e que foi confirmada pela ausência de diferença estatística significativa na análise de variância, (Quadro 7). Na mesma figura vê-se que a evolução de CO₂ das amostras que receberam a menor dose de alcatrão, 1,5 g/100 g de solo, foi superior à evolução dos outros tratamentos ao longo de todo o período de observações, superioridade corroborada pela análise estatística dos dados.

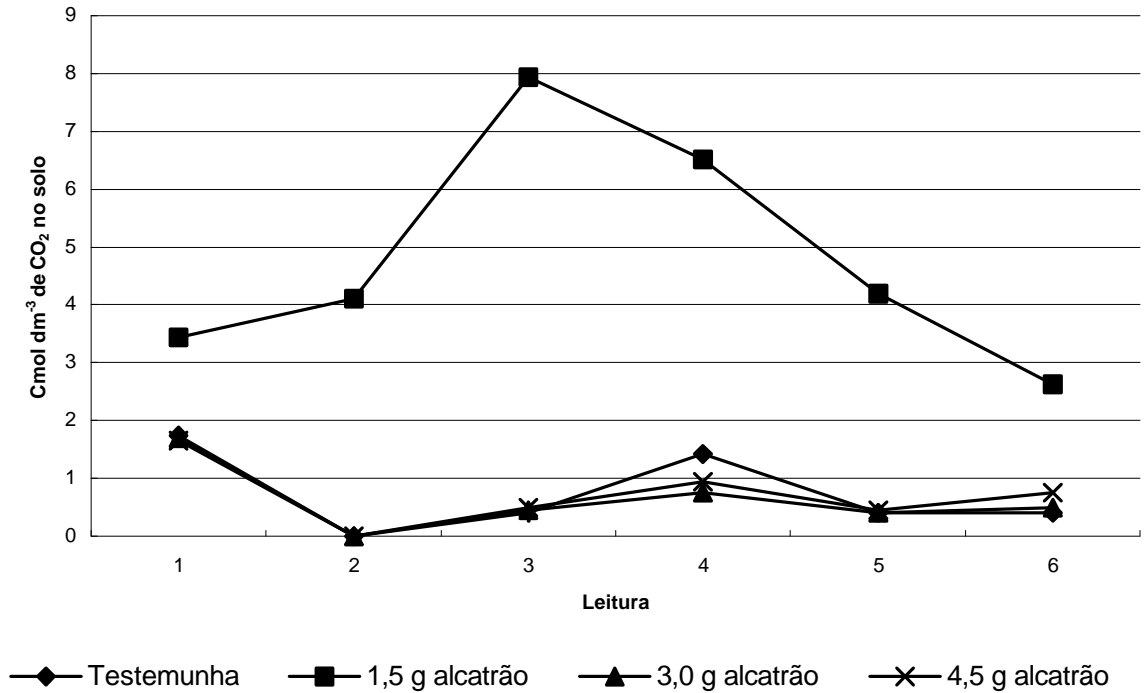


Figura 6. Evolução de CO₂ do horizonte A incubado com diferentes doses de alcatrão.

A evolução de CO₂ do horizonte C incubado com alcatrão é mostrada na Figura 7. Observa-se que os valores são inferiores aos do horizonte A e a comparação dos resultados médios de CO₂ evoluído dos dois horizontes demonstrou que esta inferioridade foi estatisticamente significativa. Para o horizonte C inexistiram diferenças estatísticas entre as três doses de alcatrão aplicadas ao solo e entre estas doses e o tratamento testemunha (Quadro 7).

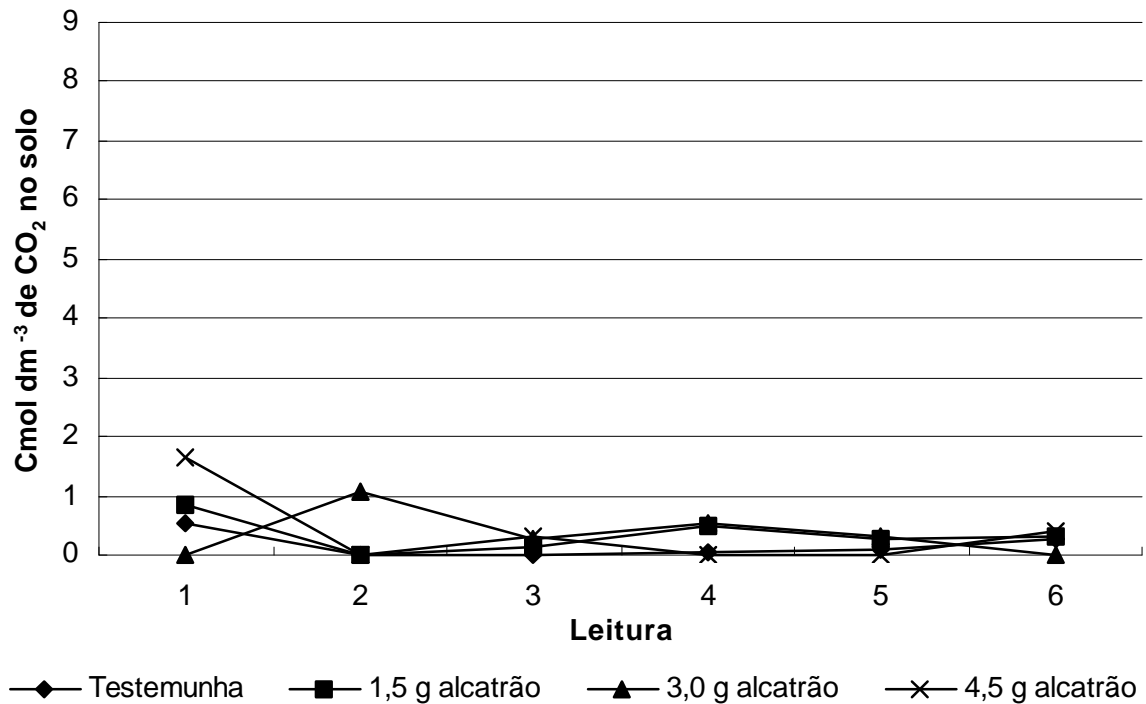


Figura 7. Evolução de CO₂ do horizonte C incubado com diferentes doses de alcatrão.

A determinação da evolução de CO₂, além de indicar a atividade microbiana do solo (ANDERSON & DOMSCH, 1978), indica indiretamente a biodegradabilidade no solo de compostos orgânicos ou sintéticos (HESS & SCHMIDT, 1995). O que se pode inferir dos resultados da respirometria apresentados neste trabalho é que, no horizonte A, a microbiota do solo foi capaz de utilizar o alcatrão adicionado na razão de 1,5 g/100 g de solo como fonte de carbono (Figura 6). SOUZA (1998) avaliando a degradabilidade dos herbicidas glyphosate e imazapyr, chegou à conclusão de que a microbiota conseguia utilizar essas substâncias como fonte de carbono tendo observado quantidades de CO₂ evoluídas menores que as observadas aqui para a menor dose de alcatrão no horizonte A. Apesar de não se poder afirmar categoricamente que as duas outras doses, em que se adicionavam quantidades maiores de alcatrão, tenham sido tóxicas à atividade microbiana, visto ter sido esta atividade, naquelas duas doses, estatisticamente iguais à atividade microbiana do tratamento testemunha, em que a fonte de carbono para os microorganismos foi exclusivamente a matéria orgânica nativa do solo,

é possível que a presença, talvez em excesso, de substâncias fenólicas tenha deprimido a ação dos microrganismos do solo. O alcatrão, além disso, é uma substância de baixa solubilidade em água (PIMENTA, 1991), fato que por si só já dificulta a degradação microbiana (REID & GOSS, 1982). A adição de substâncias orgânicas insolúveis em água pode conferir recalcitrância a frações de matéria orgânica de maior solubilidade e de mais fácil degradabilidade ao impedir ou dificultar a entrada de água no interior de agregados, diminuindo a atividade microbiana (PICCOLO & MBAGWU, 1999).

A pequena quantidade de CO₂ liberada no horizonte C parece dever-se mais à escassez de microrganismos no solo do que a algum efeito tóxico ou de outra natureza do alcatrão que pudesse diminuir a atividade microbiana, já que também no tratamento em que não houve adição de alcatrão ao solo, a quantidade de CO₂ foi muito baixa. Não obstante a exposição do solo ao ar antes da aplicação dos tratamentos, visando a garantia de “infecção” do solo, a proliferação de microrganismos neste horizonte foi pequena, sem dúvida devido à sua natural pobreza em matéria orgânica. É possível que a menor quantidade de areia e a maior proporção de argila do horizonte C em relação ao horizonte A do Latossolo estudado, propiciando um ambiente de menor aeração e maior retenção de água (GUERRA, 2000) tenham contribuído, também, para a menor atividade microbiana observada no horizonte C.

Quadro 7. Resumo da análise de variância dos dados referentes ao experimento de evolução de CO₂ de dois horizontes de um Latossolo Vermelho-Amarelo incubados com diferentes doses de alcatrão. Solos: S₁: horizonte A; S₂: horizonte C. Doses: D₁: 0 g alcatrão/100 g de solo; D₂: 1,5 g alcatrão/100 g de solo; D₃: 3,0 g alcatrão/100 g de solo; D₄: 4,5 g alcatrão/100 g de solo.

F.V.	G.L.	Quadrado Médio
		CO ₂
Solo (S)	1	86,4691**
Dose (D)	3	51,8608**
S x D	3	52,2303**
.S d D ₁	1	2,3783ns
.S d D ₂	1	239,4968**
.S d D ₃	1	0,4281ns
.S d D ₄	1	0,8568ns
D x S ₁	3	103,9045**
D x S ₂	3	0,1866ns
Erro	16	0,6888
C.V. (%)	71,85	

ns: não significativo.

*: significativo pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

** : significativo pelo teste F, em nível de 1% de probabilidade.

5. CONCLUSÕES

- Para o horizonte A, a dose de 1,5 g de alcatrão/100 g de solo serviu como fonte de carbono para a microbiota do solo, enquanto as doses de 3,0 g e 4,5 g de alcatrão/100 g de solo aparentemente foram tóxicas. No horizonte C, independente da dose de alcatrão utilizada, a atividade microbiana foi muito pequena.
- A adição de alcatrão ao solo promoveu aumentos nos teores de carbono orgânico em ambos os horizontes, embora no horizonte C o aumento tenha sido proporcionalmente maior.
- Houve formação de agregados > 2,00 mm no horizonte A, mas a causa disto não foi o alcatrão adicionado.
- A adição de alcatrão promoveu formação de agregados > 2,00 mm no horizonte C.
- No horizonte A os agregados > 2,00 mm foram altamente estáveis, independente da ação do alcatrão.
- O alcatrão não promoveu aumento na estabilidade de agregados em nenhum dos horizontes, apesar de ter promovido aumento no grau de flocculação de argilas no horizonte A.

6. BIBLIOGRAFIA

ACTON, C. J.; RENNIE, D. A.; PAUL, D. A. The relationship of polysaccharides to soil aggregation. **Can. J. Soil Sci.**, 43, 201-209, 1963.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biol. Biochem.**, 10, 215-221, 1978.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil physics**. 4th ed. New York: John Wiley, 1963, 498p.

BORGES, E. N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G. F.; FRANÇA, G. V. Gesso e matéria seca vegetal na floculação de argila e na produção de soja de um Latossolo Vermelho-Escuro com camada subsuperficial compactada. **R. bras. Ci. Solo**, 21, 119-123, 1997.

CHANEY, K.; SWIFT, R. S. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. **J. Soil Sci.** 35, 223-230, 1984.

CHANEY, K.; SWIFT, R. S. Studies on aggregate stability. II. The effect of humic substances on the stability of re-formed soil aggregates. **J. Soil Sci.** 37, 337-343, 1986.

CHRISTENSEN, B. T. Straw incorporation and soil organic matter in microaggregates and particle size fractions. **J. Soil Sci.** 37, 125-135, 1986.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 359p.

DEGENS, B. P. Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: a review. **Aust. J. Soil Res.** 35, 431-459, 1997.

DORMAAR, J. F. Chemical properties of soil and water-stable aggregates after sixty-seven years of cropping to spring wheat. **Plant Soil.** 75, 51-61, 1983.

EDWARDS, A. P.; BREMNER, J. M. Microaggregates in soils. **J. Soil Sci.** 18, 65-73, 1967.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA/CNPS, 1997. 212p.

- EMERSON, W. W. The structure of soil crumbs. **J. Soil Sci.** 10, 235-244, 1959.
- FONTES, L. E. F.; SANS, L. M. A.; FONTES, M. P. F. **Física do Solo-Princípios Básicos**. Viçosa, MG, 1992. 130p.
- GREENLAND, D. J. Interactions between humic and fulvic acids and clays. **Soil Sci.** 111, 34-41, 1971.
- GRIFFITHS, E.; BURNS, R. G. Interaction between phenolic substances and microbial polysaccharides in soil aggregation. **Plant Soil.** 36, 599-612, 1972.
- GUERRA, H. O. C. **Física do solo**. Campina Grande, DEA/ UFPB, 2000. 175p.
- HESS, T. F.; SCHMIDT, S. K. Improved procedure for obtaining statistically valid parameter estimates from soil respiration data. **Soil Biol. Biochem.**, 27, 1-7, 1995.
- LE BISSONNAIS, Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. **Eur. J. Soil Sci.** 47, 425-437, 1996.
- MACIEL, A. S. **Produção de adesivos a partir de derivados fenólicos do alcatrão vegetal**. Viçosa, MG: UFV, 1989. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1989.
- OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant Soil.** 76, 319-337, 1984.
- OADES, J. M. An introduction to organic matter in mineral soils. **In: Minerals in soil environments** (2nd Edition)-SSSA Book Series, no. 1, p.89, 1989.
- OADES, J. M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma.** 56, 377-400, 1993.
- PICCOLO, A.; MBAGWU, J. S. C. Effects of different organic waste amendments on soil microaggregates stability and molecular sizes of humic substances. **Plant Soil.** 123, 27-37, 1990.
- PICCOLO, A.; MBAGWU, J. S. C. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 63, 1801-1810, 1999.
- PIMENTA, A. S. **Fracionamento e análise de alcatrão e creosoto de eucalipto por cromatografia gasosa e espectrometria de massa**. Viçosa, MG: UFV, 1991. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1991.

- REID, J. B.; GOSS, M. J. Interactions between soil drying due to plant water use and decreases in aggregate stability caused by maize roots. **J. Soil Sci.** 33, 47-53, 1982.
- RENNIE, D. A.; TRUOG, E.; ALLEN, O. N. Soil aggregation as influenced by microbial gums, level of fertility and kind of crop. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 18, 399-403, 1954.
- SKJEMSTAD, J. O.; JANICK, L. J.; TAYLOR, J. A. Non-living soil organic matter: what do we know about it? **Aust. J. Exp. Agric.** 38, 667-680, 1998.
- SOUZA, A. D. **Movimento e degradação do glyphosate e do imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química.** Viçosa, MG: UFV, 1998. 95p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology.** The Benjamin/Cummings Publishing Company. 1991. 565p.
- THENG, B. K. G. Clay-polymer interactions: summary and perspectives. **Clays and Clay Minerals.** 30, 1-10, 1982.
- TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **J. Soil Sci.** 33, 141-163, 1982.
- VETTERLEIN, D.; HÜTTL, R. F. Can applied organic matter fulfill similar functions as soil organic matter? Risk-benefit analysis for organic matter application as a potential strategy for rehabilitation of disturbed ecosystems. **Plant and Soil**, 213, 1-10, 1999.
- YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 19(13): 1467-1476. 1988.