

RENATO RIBEIRO PASSOS

**CARBONO ORGÂNICO E NITROGÊNIO EM AGREGADOS DE UM
LATOSSOLO VERMELHO SOB DUAS COBERTURAS VEGETAIS**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2000

RENATO RIBEIRO PASSOS

**CARBONO ORGÂNICO E NITROGÊNIO EM AGREGADOS DE UM
LATOSSOLO VERMELHO SOB DUAS COBERTURAS VEGETAIS**

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

APROVADA: 23 de agosto de 2000.

Prof. Eduardo de Sá Mendonça
(Conselheiro)

Prof. Reinaldo Bertola Cantarutti
(Conselheiro)

Prof. Mozart Martins Ferreira

Prof. Liovando Marciano da Costa

Prof. Hugo Alberto Ruiz
(Orientador)

A Deus.

À minha esposa Rosimare.

À minha filha Renata.

Aos meus pais Otacílio e Ruth.

Aos meus sogros Romilde e Nida.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do Programa de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Hugo Alberto Ruiz, pela orientação, pela dedicação, pela confiança em mim depositada e, principalmente, pela amizade desde o tempo da graduação.

Aos professores Eduardo de Sá Mendonça e Reinaldo Bertola Cantarutti, pelos aconselhamentos e pelas valiosas críticas e sugestões durante a defesa da tese.

Ao professor Liovando Marciano da Costa, pela participação na defesa de tese e pela confiança em mim depositada.

Ao professor Mozart Martins Ferreira, do Departamento de Solos da Universidade Federal de Lavras, pela participação na defesa de tese.

Ao professor Adailson Pereira de Souza, do Departamento de Solos e Engenharia Rural da Universidade Federal da Paraíba, pelo auxílio nas análises estatísticas dos dados referentes à produção de CO₂, pela atenção e pela amizade.

Aos professores do Departamento de Solos, em especial a Carlos Ernesto G. R. Schaefer, João Ker e Maurício P. F. Fontes, pelos ensinamentos, pelo apoio prestado durante o curso e pelo harmonioso convívio.

À minha esposa Rosimare e à minha filha Renata, pelo amor, pelo carinho, pela compreensão e pelos estímulos constantes para a concretização do curso.

À Marta, esposa do professor Hugo Alberto Ruiz, pela prazerosa convivência nesse período.

Aos amigos Guilherme K. Donagemma, Guilherme Cadinelli e Oldair V. Costa, pela prazerosa convivência e pelo acolhimento em seu apartamento na fase final do curso.

Aos amigos Herly e Aurora, George, Paulo Gabriel, Nelci, Hedinaldo e Lillian, Maurício e Ana, Marcelo Metri, Airton, Fernando Egreja, Antônio Augusto, Celsemy e Elis Regina, Carlos Domingos, Arimura, Felipe Vaz Andrade, Reinaldo Santanna, Milson, Betânia, Rozane e tantos outros, pela convivência e pela troca de informações durante o curso.

Aos estudantes de graduação Césane, Otacílio José, Sérgio e Leonardo, pela amizade e pelo auxílio nas análises laboratoriais.

Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial a Carlos Henriques, Cláudio, Bené, João Lélis, Renato Viana, Carlos Fonseca e Zélia, pela amizade e pelo apoio nas análises laboratoriais.

Ao pesquisador da EMBRAPA - CNPMS, Ramon Costa Alvarenga, pelo apoio oferecido na realização da coleta do solo.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

RENATO RIBEIRO PASSOS, filho de Otacílio Vieira Passos e Ruth Ribeiro Passos, nasceu no dia 8 de maio de 1967, em Vitória, Estado do Espírito Santo.

Em agosto de 1990, diplomou-se Engenheiro-Agrônomo pela Universidade Federal do Espírito Santo. Durante a graduação, participou de programas de pesquisa, dos quais foi bolsista de iniciação científica (CNPq) por três anos.

Em agosto de 1994, concluiu o Programa de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Lavras.

Em outubro de 1996, iniciou o Programa de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Carbono orgânico no solo	3
2.2. Nitrogênio no solo	8
2.3. Importância da matéria orgânica na formação de agregados do solo	10
2.4. Influência do manejo do solo sobre a disponibilidade de carbono e de nitrogênio.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. Localização e caracterização da área	19
3.2. Amostragem, preparo e caracterização das amostras de solo	19
3.3. Determinações experimentais	23
3.3.1. Carbono orgânico total	23
3.3.2. Substâncias húmicas.....	24
3.3.2.1. Extração e fracionamento	24
3.3.2.2. Determinação do carbono orgânico das frações húmicas	26

3.3.3. Evolução de CO ₂	27
3.3.4. Carbono orgânico solúvel em água	29
3.3.5. Carbono orgânico lábil	31
3.3.6. Nitrogênio total	32
3.3.7. Nitrogênio mineralizado anaerobicamente	33
3.4. Análises estatísticas	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1. Carbono orgânico total	35
4.2. Substâncias húmicas	40
4.3. Evolução de CO ₂	44
4.4. Carbono orgânico solúvel em água	51
4.5. Carbono orgânico lábil	53
4.6. Nitrogênio total e nitrogênio mineralizado anaerobicamente	61
4.7. Relações entre carbono orgânico e nitrogênio	65
4.8. Relações entre algumas características estudadas	68
5. RESUMO E CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
APÊNDICE	82

RESUMO

PASSOS, Renato Ribeiro, D.S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2000.
Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho sob duas coberturas vegetais. Orientador: Hugo Alberto Ruiz. Conselheiros: Eduardo de Sá Mendonça e Reinaldo Bertola Cantarutti.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o carbono orgânico e o nitrogênio em diferentes classes de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico de Minas Gerais sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho durante 30 anos. Para isso, retiraram-se amostras do solo em quatro pontos diferentes, nas profundidades de 5-10 e 15-20 cm, definidas na área cultivada, em função da resistência à penetração, utilizando-se um penetrógrafo. As mesmas profundidades foram adotadas para a coleta das amostras de solo sob vegetação natural. Após coletado, o material foi seco ao ar e fracionado, por via seca, nas classes de agregados de: 4,75-2,0; 2,0-1,0; 1,0-0,5; 0,5-0,25; 0,25-0,105; e <0,105 mm de diâmetro. Nesses materiais, determinaram-se o carbono orgânico total, o carbono orgânico das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas, o carbono orgânico solúvel em água, o carbono orgânico lábil determinado com KMnO_4 15,6 e 33,0 mmol/L, o nitrogênio total e o nitrogênio mineralizado anaerobicamente. Os materiais ainda foram submetidos a um ensaio de respirometria, em que os valores da produção de CO_2 foram expressos em relação à massa de agregados e de carbono orgânico total. Esses valores foram ajustados a equações logísticas [$Y = a/1+e^{-(b+cx)}$] e estimou-se o tempo necessário para atingir a metade da produção máxima de CO_2 ($t_{1/2}$). A evolução de CO_2 se constitui em um método-referência para avaliar a atividade dos microrganismos que atuam na mineralização da matéria orgânica do solo, e o $t_{1/2}$ permite inferir a velocidade de mineralização e, conseqüentemente, a labilidade da matéria orgânica. Os resultados experimentais mostraram que a cobertura vegetal exerce

influência sobre os teores de carbono orgânico e de nitrogênio. No solo sob cultivo com milho, as formas mais estáveis predominaram, enquanto as formas mais lábeis sobressaíram no solo sob vegetação natural. Os teores de carbono orgânico e de nitrogênio tenderam a aumentar com a diminuição do tamanho dos agregados. O carbono orgânico solúvel em água, o nitrogênio mineralizado anaerobicamente e a relação entre essas características constituem medidas adequadas para detectar mudanças na labilidade da matéria orgânica do solo, em função do manejo.

ABSTRACT

PASSOS, Renato Ribeiro, D.S., Universidade Federal de Viçosa, August 2000. **Organic carbon and nitrogen in aggregates of a Red Latosol under two vegetation covers.** Adviser: Hugo Alberto Ruiz. Committee Members: Eduardo de Sá Mendonça and Reinaldo Bertola Cantarutti.

The objective of this work was to characterize organic carbon and nitrogen in aggregates of a dystrophic Red Latosol of Minas Gerais under natural savannah vegetation and maize crop over 30 years. Thus, samples were taken from soil at 4 different sites at depths of 5-10 and 15-20 cm, defined in the cultivated area based on resistance to penetration by means of a penetrometer. The same depths were adopted for collecting the samples from soils under natural vegetation. After collection, the material was air dried and dry-fractionated into the following aggregate classes: 4.75-2.0; 2.0-1.0; 1.0-0.5; 0.5-0.25; 0.25-0.105; and <0.105 mm diameter. These fractions were then submitted to determination of total organic carbon, organic carbon of the fulvic acid fractions, humic acids and humines, water soluble organic carbon, labile organic carbon using KMnO_4 15.6 and 33.0 mmol/L, total nitrogen and anaerobically-mineralized nitrogen. The materials were further submitted to a respirometry assay, in which the CO_2 production values were expressed in relation to the aggregate mass and total organic carbon mass. These values were adjusted to logistic equations $[Y = a/(1+e^{-(b+cx)})]$ with the time needed to achieve half of the maximum CO_2 ($t_{1/2}$), production being estimated. The evolution of CO_2 constitutes a reference method used to evaluate the activity of the microorganisms that have an effect on soil organic matter mineralization. The $t_{1/2}$ allows to infer the velocity of mineralization and, consequently, the organic matter lability. The experimental results have revealed that vegetation cover has an influence on the contents of organic carbon and nitrogen. The most stable forms predominated on maize-cultivated soils while the most labile forms predominated on soil under natural vegetation. The organic carbon and nitrogen contents tended to increase with decreasing aggregate size. The water-soluble organic carbon, the anaerobically-mineralized nitrogen and the relationship between these characteristics are adequate measures to detect changes in the organic matter lability of soil, as a function of management.

1. INTRODUÇÃO

Sob a vegetação de Cerrado, predominam Latossolos que têm como característica marcante a presença de estrutura formada por pequenos grânulos. Além disso, esses solos apresentam, de modo geral, baixa fertilidade e teores médios a altos de matéria orgânica (LOPES e COX, 1977).

A matéria orgânica desempenha importante papel no desenvolvimento das plantas, por meio de sua influência direta e indireta nos processos químicos, físicos e biológicos do solo e constitui-se, também, em um dos principais agentes responsáveis pela formação e estabilização dos agregados.

O teor de matéria orgânica do solo resulta do equilíbrio entre a adição e a decomposição do material orgânico e da atividade microbiana. As taxas de adição e decomposição do material orgânico alteram-se quando se substitui a vegetação nativa por determinada cultura. Geralmente, o preparo do solo tem

efeito sob a atividade microbiana, acelerando a mineralização da matéria orgânica. Em decorrência disso, propiciará deterioração mais rápida da estrutura e de outras características do solo, uma vez que a matéria orgânica do solo tem papel preponderante na formação e estabilização dos agregados. Conseqüentemente, é importante a manutenção dos seus teores, visando à otimização da utilização do recurso solo nos agroecossistemas.

Considerando a constituição variada da matéria orgânica do solo, que inclui desde frações ativas a mais estáveis, a influência que estas frações exercem sobre a agregação do solo, a importância do nitrogênio no processo produtivo e as mudanças promovidas pelas práticas de manejo sobre os teores de carbono orgânico e nitrogênio, estudos com matéria orgânica se fazem necessários.

Assim, este trabalho teve como objetivo caracterizar o carbono orgânico e o nitrogênio em diferentes classes de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico de Minas Gerais sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho durante 30 anos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Carbono orgânico no solo

A matéria orgânica do solo representa um dos principais reservatórios de carbono (C) no ciclo global deste elemento. Embora a quantidade presente no solo e na biota terrestre seja pequena comparada às quantidades em sedimentos e oceanos, ela excede os valores presentes na atmosfera como CO₂. O ciclo global do C é impulsionado pela energia solar capturada pelos organismos autotróficos. Inicialmente forma-se a glicose, logo armazenada na forma de compostos orgânicos constituintes das plantas. A taxa de retorno à atmosfera do C fixado por fotossíntese, estimada em 10% do C na atmosfera, depende da temperatura, do regime hídrico e das interações com os componentes minerais dos solos (OADES, 1989).

A constituição da matéria orgânica do solo compreende os componentes vivos e não-vivos. Os componentes vivos são representados por raízes de plantas, fauna e microrganismos, estes últimos na faixa de 60 a 80% do total. Os componentes não-vivos incluem a matéria macrorgânica, consistente em resíduos de plantas em variado estágio de decomposição, as substâncias humificadas e as não-humificadas. As substâncias não-humificadas incluem carboidratos, lipídeos, aminoácidos, proteínas, ligninas, ácidos nucleicos, pigmentos e uma variedade de ácidos orgânicos. Já as substâncias humificadas, que constituem de 70 a 80% da matéria orgânica na maioria dos solos minerais, convencionalmente são divididas em três categorias ou frações principais, de acordo com sua solubilidade em

função da reação do meio: ácidos fúlvicos solúveis em ácidos e em álcalis; ácidos húmicos solúveis em álcalis; e huminas insolúveis em ácidos e em álcalis (THENG et al., 1989).

A matéria orgânica do solo pode ser dividida também em constituintes lábeis e estáveis. Essa divisão, baseada na taxa de decomposição, permite melhor entendimento da dinâmica da matéria orgânica no solo. Os constituintes lábeis da matéria orgânica do solo, genericamente denominados matéria orgânica lábil ou C orgânico lábil, incluem liteira de plantas, matéria macrorrgânica ou fração leve, substâncias não-húmicas não ligadas aos constituintes minerais, formas solúveis em água, macrorganismos (fauna) e biomassa microbiana. A decomposição dos constituintes lábeis ocorre em poucas semanas ou meses. Os componentes mais estáveis da matéria orgânica, por sua vez, representados por substâncias húmicas e outras macromoléculas, são resistentes ao ataque microbiano, devido à sua estrutura molecular ou por estarem fisicamente protegidos em complexos organominerais ou retidos no interior de agregados, podendo persistir no solo por centenas de anos (THENG et al., 1989).

O carbono orgânico mais lábil e ativo do solo encontra-se nas substâncias solúveis em água. Estas substâncias incluem produtos de mineralização e de ressíntese microbiana e exercem influência no processo de desnitrificação, na química do equilíbrio ácido/base da solução do solo, na lixiviação de cátions e na mobilização de metais pesados (ZECH et al., 1997). Relacionam-se também com processos pedológicos (THENG et al., 1989).

O tamanho do compartimento lábil é controlado pela qualidade e quantidade de resíduos orgânicos adicionados ao solo e pelo clima. Outros fatores importantes incluem o estado físico dos resíduos e o tipo e a frequência de cultivo (DUXBURY et al., 1989).

As substâncias húmicas representam a fração mais estável da matéria orgânica do solo. A estabilidade destas substâncias é atribuída à sua estrutura química complexa, associada à sua localização no interior dos agregados do solo e às suas interações com minerais de argilas e cátions metálicos (THENG et al., 1989). STEVENSON (1982) as define como uma série de substâncias de peso molecular relativamente elevado, de coloração marrom a escura, formadas por reações de sínteses secundárias. O termo se refere, genericamente, ao material colorido ou às frações obtidas com base nas características de solubilidade. Segundo MICHEL et al. (1996), as substâncias húmicas são produtos da modificação e da degradação química e biológica dos resíduos vegetais, principalmente, e animais, assim como da atividade da microflora do solo.

Os microrganismos compreendem o maior compartimento (60-80%) dos componentes vivos da matéria orgânica do solo (THENG et al., 1989). A medição da atividade microbiana pela respirometria permite que se faça a estimativa do carbono mineralizável a partir do CO₂ evoluído (ELLERT e GREGORICH, 1995).

A qualidade do material orgânico adicionado ao solo exerce grande influência sobre a mineralização da matéria orgânica e, conseqüentemente, na liberação de CO₂. Elevadas quantidades de compostos com moléculas simples e relação C/N estreita tendem a ser mineralizadas mais rapidamente do que materiais que apresentam elevado grau de aromaticidade e altos teores de C de radicais alquil (ZECH et al., 1997).

A necromassa microbiana também se constitui numa fonte de C. Com o reumedecimento do solo seco, há aceleração da respiração microbiana nos primeiros dias de incubação. Esse aumento é atribuído à mineralização da necromassa dos microrganismos (ZECH et al., 1997). Nessas condições, o crescimento da população microbiana constitui fator determinante na mineralização dos compostos orgânicos.

Existem vários métodos para a determinação do carbono mineralizável por meio da evolução de CO₂. CURL e RODRIGUEZ-KABANA (1972) descrevem um método de laboratório em que amostras de solos são umedecidas e submetidas à circulação forçada de ar livre de CO₂. O CO₂ produzido é retido em solução de NaOH e, periodicamente, o excesso de álcali é titulado, estimando-se a quantidade de CO₂ produzida num determinado intervalo de tempo.

Um dos métodos mais utilizados na determinação do C orgânico, baseado em técnicas de oxidação com dicromato de potássio, é o de Walkley-Black. Este método é simples, rápido e não requer o uso de equipamento especial. Por não usar aquecimento externo das amostras de solo, geralmente a oxidação é incompleta, necessitando de um fator de correção. Já o método de oxidação descrito por Mebius envolve o aquecimento externo das amostras de solo, promovendo a oxidação completa do C orgânico, requerendo, contudo, o uso de equipamento especializado (NELSON e SOMMERS, 1982). YEOMANS e BREMNER (1988) propõem uma modificação no procedimento Mebius para determinação de C orgânico em solos, que também se baseia na oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio. Em relação ao método original, apresenta como vantagem o uso de tubos de digestão em substituição aos balões e condensadores de refluxo.

A estimativa do C orgânico pode ser feita também por subtração, após análise do C total e do C inorgânico presentes na amostra do solo, ou por determinação do C total após destruição do C inorgânico (NELSON e SOMMERS, 1982).

BARTLETT e ROSS (1988) descrevem um método que possibilita a determinação colorimétrica do C orgânico oxidável em solução de solos. Neste método, mede-se a perda de cor de um complexo de pirofosfato-Mn (III) pela

redução a Mn (II) provocada pelo C orgânico. O método é sensível para amostras que contêm de 0,08 $\mu\text{mol/mL}$ a 4 $\mu\text{mol/mL}$ de C orgânico, sendo praticamente livre de interferências.

Procedimentos colorimétricos baseados na oxidação do C orgânico com KMnO_4 têm sido propostos para diferenciar o C com base em sua labilidade. BLAIR et al. (1995) consideram carbono orgânico lábil (COL) o carbono oxidável por uma solução de KMnO_4 0,333 mol/L. Por diferença entre o C orgânico total (COT) e o COL, obtém-se o C orgânico não-lábil (CONL). Entretanto, SHANG e TIESSEN (1997) propõem a diminuição da concentração de KMnO_4 para 0,033 mol/L, considerada suficiente para oxidar o COL. Estes autores indicam que o emprego de um oxidante mais diluído que o utilizado por BLAIR et al. (1995), para mostrar as mudanças na qualidade da matéria orgânica de um Oxisolo de região tropical, se deve ao fato de a matéria orgânica ser relativamente mais lábil neste solo do que em solos de regiões temperadas, onde o método foi desenvolvido. Dessa forma, o método de oxidação pode requerer ajustes conforme diferenças de climas e de tipos de solos. O problema desta proposta é a dificuldade de comparar valores determinados em solos de diferentes origens, pois é evidente que a concentração utilizada por BLAIR et al. (1995) oxida formas de C não afetadas pela concentração proposta por SHANG e TIESSEN (1997).

O fracionamento químico das substâncias húmicas permite a obtenção das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas, que apresentam solubilidade diferenciada em soluções aquosas de extratos de solos, em distintos níveis de pH (STEVENSON, 1982). Cada uma dessas frações pode ser considerada como formada por uma série de moléculas de tamanhos diferentes, e a maioria delas não possui a mesma configuração estrutural ou grupos reativos na mesma posição (COLNAGO et al., 1996). Os ácidos fúlvicos, de menor peso molecular, apresentam maiores conteúdos de oxigênio, mas menores conteúdos de carbono, do que os ácidos húmicos, de maior peso molecular. Além disso, a acidez total, proveniente dos grupos hidroxílicos e carboxílicos, principalmente, é consideravelmente superior nos ácidos fúlvicos em relação aos ácidos húmicos (STEVENSON e ELLIOT, 1989). A humina, de elevado peso molecular, é considerada a fração mais estável e participa nos complexos argilo-húmicos e organometálicos (STEVENSON, 1982).

A extração de substâncias húmicas pode ser feita por vários métodos. STEVENSON (1982) considera o método de extração ideal aquele que

possibilita o isolamento do material inalterado, que promove a extração das substâncias húmicas livres de contaminantes inorgânicos, como argilas e cátions polivalentes, que permite uma extração completa, garantindo assim a representação integral das frações de variável peso molecular, e que pode ser universalmente aplicado a todos os solos. Entre os extratores, o NaOH tem sido o mais utilizado, por extrair maior percentagem de substâncias húmicas do que qualquer outro extrator disponível (GUERRA e SANTOS, 1999). A determinação do C orgânico presente nas diferentes frações húmicas por oxidação com dicromato de potássio permite avaliar a capacidade de recuperação do C orgânico das frações, em relação àquele presente na amostra do solo; possibilita também a obtenção de valores quantitativos de C orgânico nessas frações.

2.2. Nitrogênio no solo

A presença de nitrogênio (N) nos solos e na biota é insignificante, comparativamente às quantidades na atmosfera e nas rochas sedimentares (OADES, 1989). Os teores de N total dos solos variam de 0,02 a 2,5%. Entretanto, a camada superficial dos solos cultivados contém, normalmente, entre 0,06 e 0,5% de N (BREMNER e MULVANEY, 1982).

O N ocupa uma posição de destaque entre os elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas. Sua baixa disponibilidade, somada à grande necessidade por parte dos vegetais, faz com que seja um dos nutrientes mais limitantes da produtividade da maioria das culturas. Esta baixa disponibilidade é decorrente do fato de que 95% ou mais do N do solo encontra-se na forma orgânica, sendo somente uma pequena parte mineralizada pela microbiota do solo durante o cultivo, disponibilizando N mineral às culturas (CAMARGO et al., 1999).

Entre os compostos orgânicos nitrogenados identificados em maior proporção no solo encontram-se os aminoácidos e os açúcares aminados. (DUXBURY et al., 1989). Além dessas formas, uma porção significativa do N do solo ocorre como componente estrutural dos ácidos húmicos (SCHULTEN e SCHNITZER, 1997). Entretanto, somente 40 a 50% do N orgânico nos solos podem ser identificados como componentes com classes químicas definidas (DUXBURY et al., 1989).

O N no solo está sujeito a grande número de processos, que resultam em transformações de formas orgânicas em inorgânicas e vice-versa e que podem

resultar em ganhos ou perdas no sistema como um todo (RAIJ, 1991). Para ser absorvido pelas plantas, as formas orgânicas de N precisam ser transformadas em formas inorgânicas. Esse processo, denominado mineralização, é conduzido por microrganismos heterotróficos do solo que utilizam substâncias orgânicas nitrogenadas como fonte de C, N e energia (CAMARGO et al., 1999).

Na maioria dos solos, o N inorgânico encontra-se na forma de NH_4^+ e de NO_3^- . A nitrificação, que consiste na conversão de NH_4^+ em NO_3^- por microrganismos autotróficos em condições de oxidação, é realizada em duas etapas: inicialmente o NH_4^+ é convertido em NO_2^- e, após, ocorre a conversão do NO_2^- em NO_3^- (TISDALE et al., 1985). O NH_4^+ pode ser adsorvido ao complexo sortivo do solo, ao passo que o NO_3^- é normalmente repellido pelas cargas negativas superficiais das partículas do solo, permanecendo em solução, o que o torna suscetível à lixiviação (RAIJ, 1991).

O método mais utilizado na determinação do N total em solos é o Kjeldahl, que se fundamenta na conversão do N orgânico contido na amostra em NH_4^+ por meio de digestão sulfúrica e na dosagem deste por meio da quantidade de NH_3 liberada pela destilação do digerido em meio alcalino (BREMNER e MULVANEY, 1982).

Índices biológicos ou químicos têm sido propostos para avaliar a disponibilidade de N em solos, e um deles consiste na determinação de NH_4^+ formado quando amostras de solos são submersas em água e submetidas à incubação a 40°C por sete dias. A determinação do NH_4^+ é feita pelo método Kjeldahl. Pela diferença dos teores de NH_4^+ determinados, antes e após a incubação, obtém-se o N mineralizado anaerobicamente da amostra de solo (KEENEY, 1982). Diferentemente do N total, que geralmente não caracteriza o compartimento do solo mais facilmente mineralizável (fator quantidade ou N lábil), o N mineralizado anaerobicamente constitui-se em uma estimativa adequada da fração lábil de N no solo (MAIA, 1999).

2.3. Importância da matéria orgânica na formação de agregados do solo

A matéria orgânica do solo tem papel importante tanto na formação quanto na estabilidade dos agregados. MARTIN et al. (1955) definem agregados como grupos de partículas de solo, onde as forças que mantêm as partículas juntas são maiores do que as forças entre os agregados adjacentes. Esses grupos resistem às forças de destruição associadas aos ciclos de umedecimento e secagem e aos impactos das gotas de chuva (DEXTER, 1988). Os agregados são componentes da estrutura do solo, sendo, portanto, importantes para a manutenção da porosidade e aeração favoráveis ao crescimento das plantas e dos microrganismos, para a infiltração de água e para a estabilidade necessária à prevenção da erosão (TISDALL e OADES, 1982; OADES, 1984). Considerando a estrutura do solo como o arranjo de partículas e poros em solos, importa ressaltar que é uma característica dinâmica, sujeita a mudanças que podem levar à formação ou destruição dos agregados (OADES, 1993).

Considerando a matéria orgânica como um dos principais agentes de agregação das partículas do solo, é de se esperar, em solos tropicais, que parte da variação do tamanho dos agregados e, por conseqüência, dos índices de agregação seja atribuída à variação do conteúdo de matéria orgânica do solo. CASTRO FILHO et al. (1998) verificaram que o aumento do teor de carbono orgânico resultou em maior índice de estabilidade de agregados em virtude da diminuição de agregados das classes com diâmetro $<0,25$ mm e do aumento das classes de diâmetro maior.

A natureza química da matéria orgânica adicionada ao solo pode influenciar a persistência de mecanismos de ligação, promovendo ou não a formação de agregados estáveis. TISDALL & OADES (1982) propuseram três grupos de agentes ligantes orgânicos envolvidos na formação de agregados: transitórios, temporários e persistentes. Os agentes ligantes transitórios são materiais orgânicos que são rapidamente decompostos por microrganismos, principalmente os polissacarídeos, e estão associados à formação dos macroagregados (agregados com diâmetro $>0,25$ mm). As hifas dos fungos e as raízes que permanecem no solo por vários meses e até por alguns anos são considerados agentes ligantes temporários e estão associados à formação de macroagregados jovens. Os agentes ligantes orgânicos persistentes são constituídos pelas substâncias húmicas que, ao se ligarem aos cátions polivalentes presentes na fração mineral, como Al^{3+} , Fe^{3+} e Ca^{2+} , constituem importante mecanismo de formação de microagregados (agregados com diâmetro $<0,25$ mm).

Fatores como textura e mineralogia têm influência na formação de agregados estáveis e no conteúdo de C orgânico no solo (FELLER e BEARE, 1997). A taxa de decomposição de materiais orgânicos no solo é geralmente reduzida na presença de argila. Argilas e matéria orgânica interagem para formar complexos

e microagregados, tornando as substâncias orgânicas menos suscetíveis à biodegradação (TISDALL e OADES, 1982). Como resultado desse efeito estabilizador, solos argilosos geralmente contêm mais matéria orgânica do que solos de textura média ou arenosa que receberam as mesmas quantidades de material orgânico, durante um período prolongado (JENKINSON, 1988). Todavia, SCOTT et al. (1996) encontraram resultados contrários, atribuindo essas diferenças ao menor tempo de incubação, que não permitiria estabilização adequada da matéria orgânica no solo mais argiloso.

Em muitos modelos que descrevem a ciclagem de C e N no solo, a proteção física da matéria orgânica tem sido tratada empiricamente. A proposição é de que a argila dos solos tem grande capacidade para preservar ou proteger a biomassa microbiana e fornecer ambiente apropriado, permitindo íntima relação entre os microrganismos e os produtos de decomposição. Essa relação resulta em grande proporção de C e N da biomassa microbiana decomponível protegida fisicamente ou na promoção de alta eficiência de utilização de glicose e de produtos metabólicos pela biota dos solos em decorrência das argilas (van VEEN et al., 1985).

HASSINK e WHITMORE (1997) propuseram um modelo que considera a proteção física como uma função da capacidade de partículas de argila e agregados em preservar a matéria orgânica. Nele, a taxa líquida de decomposição da matéria orgânica não depende simplesmente da textura do solo, mas do grau no qual a capacidade protetora das argilas é realmente ocupada pela matéria orgânica. A taxa em que a matéria orgânica torna-se protegida depende da quantidade de matéria orgânica livre e do grau em que a capacidade protetora das argilas está efetivamente preenchida. A ligação e a liberação de matéria orgânica desses locais protegidos podem ser descritas por cinéticas de adsorção-dessorção.

A ciclagem da matéria orgânica do solo depende da taxa de uso pelos microrganismos do solo, determinada pela qualidade do substrato e pela facilidade de acesso. Métodos de extração química dão informações sobre os tipos de matéria orgânica presentes, enquanto a separação física fornece informações sobre a localização da matéria orgânica no solo. A distribuição da matéria orgânica dentro de frações granulométricas do solo pode ser estimada pela quebra da estrutura do solo, seguida da separação destas frações com base no tamanho das partículas minerais ou por diferença de densidade (ELLIOT e CAMBARDELLA, 1991).

Os solos são formados de agregados de vários tamanhos, estabilizados por diferentes materiais orgânicos e inorgânicos. As relações entre o conteúdo de matéria orgânica do solo e a estrutura dos agregados são complexas e não claramente entendidas, sendo fundamentais tanto para a estimativa da reserva de carbono em agregados do solo quanto para a compreensão da dinâmica da matéria orgânica do solo mediada pela estrutura. De acordo com TISDALL e OADES (1982), a estabilidade dos macroagregados ($>0,25$ mm) depende sobretudo das raízes e hifas, sendo, portanto, influenciada pelo manejo do solo. Já a estabilidade dos microagregados ($<0,25$ mm) está relacionada aos agentes ligantes orgânicos mais persistentes, independentemente do sistema de manejo utilizado.

A interação fauna do solo-microrganismos também merece destaque sobre a formação de agregados associada à matéria orgânica do solo. Segundo JUMA (1993), para entender algumas das inter-relações entre estrutura do solo/textura e atividade de fauna-microrganismos, torna-se necessário quantificar a distribuição do tamanho dos poros, as populações da fauna e dos microrganismos e as dinâmicas de C e N. Como a textura e a estrutura regulam o espaço poroso, afetam também as populações da fauna e dos microrganismos e suas atividades no solo. Solos argilosos, geralmente, têm maior proporção de pequenos poros do que solos de textura grosseira. Os microrganismos e a fauna de menor tamanho requerem filmes de água para desempenharem melhor suas atividades. Assim, a maior parte da decomposição da matéria orgânica ocorre dentro dos poros ocupados por água. Estes poros, de menor diâmetro, retêm água por mais tempo no período seco, oferecendo também mais proteção dos predadores, quando comparados aos poros maiores e às superfícies dos agregados. Alguns pequenos protozoários podem ocupar poros de diâmetro menor que 2 μm , transformando-os em predadores efetivos de muitas bactérias.

A maior parte da matéria orgânica está associada com a matriz mineral, formando complexos organominerais, que influenciam os comportamentos físico, químico e biológico do solo. OADES (1989) destaca a função de cátions divalentes (Ca^{2+} , Mg^{2+}) em solos alcalinos e neutros, bem como de cátions trivalentes (Fe^{3+} , Al^{3+}) em solos ácidos e ricos em óxidos de Fe e Al, na formação de complexos. SCHNITZER e KODAMA (1992) verificaram que componentes não-cristalinos de minerais do solo contribuíram significativamente para a acumulação de constituintes orgânicos em diferentes frações granulométricas. Algumas vezes, diferenças na composição química da matéria orgânica têm sido atribuídas a diferenças de composição das superfícies de adsorção dos minerais (TURCHENEK e OADES, 1979). SCHULTEN et al. (1993), ao estudarem a composição da matéria orgânica em frações do tamanho de argila (<2 μm), silte fino (2-6,3 μm), silte médio (6,3-20 μm), silte grosso (20-63 μm) e areia (63-2.000 μm) do horizonte Ap de um solo do Canadá, verificaram que houve diminuição da presença de carboidratos, fenóis e monômeros de lignina, alcaliaromáticos e compostos contendo N com o aumento dos diâmetros das frações. Por outra parte, a presença de lipídeos e de dímeros de lignina aumentou com o tamanho das partículas. Além disso, a influência da matriz mineral sobre a composição da matéria orgânica mostrou correlações significativas entre a

abundância relativa de carboidratos, compostos contendo N, lipídeos e dímeros de lignina e as proporções de filossilicatos.

Os óxidos de ferro e alumínio, comuns nos Latossolos, têm importante função na dinâmica da matéria orgânica. Os principais mecanismos de adsorção da matéria orgânica aos óxidos de ferro e alumínio são as atrações eletrostáticas, as pontes de hidrogênio e as reações de trocas de ligantes. Em geral, a adsorção de substâncias húmicas é maior em baixos valores de pH, sugerindo que a adsorção é controlada por grupos carboxílicos (OADES et al., 1989).

2.4. Influência do manejo do solo sobre a disponibilidade de carbono e de nitrogênio

Práticas de manejo utilizadas na agricultura influenciam o teor de matéria orgânica e causam mudanças na taxa de ciclagem no solo (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1994). A conversão de floresta nativa para cultivo, geralmente, é acompanhada por decréscimo na quantidade de matéria orgânica no solo, explicado pelo incremento na taxa de biodegradação (BROWN e LUGO, 1990). Entre os vários compartimentos da matéria orgânica do solo, alguns são mais sensíveis às mudanças causadas pelo manejo. Como exemplo, os resíduos de plantas e outros compartimentos mais lábeis são rapidamente reduzidos após a introdução do cultivo (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992). Uma das hipóteses que explica a retenção de matéria orgânica no solo é a de que a matriz mineral do solo a protege contra a biodegradação, através da adsorção de substratos às superfícies minerais ou através do seqüestro pelos agregados em locais inacessíveis aos microrganismos (van VEEN e KUIKMAN, 1990).

A localização da matéria orgânica na matriz do solo é considerada o fator mais determinante para sua decomposição. A fração lábil, quando localizada na parte externa dos agregados, está mais sujeita à decomposição do que a matéria orgânica oclusa no interior dos microagregados. Isto pode ser creditado à natureza química recalcitrante da matéria orgânica oclusa ou à proteção física no interior dos microagregados (BESNARD et al., 1996).

Práticas de cultivo aumentam a oxidação da matéria orgânica pela quebra dos agregados do solo, expondo novas superfícies ao ataque de microrganismos. Como as populações da fauna do solo são altamente suscetíveis a essas mudanças no ambiente, o número de espécies invertebradas diminui rapidamente quando a vegetação natural é retirada e substituída pelo cultivo intensivo (ANDERSON e FLANAGAN, 1989). A matéria orgânica é, portanto, o maior agente estabilizador dos agregados, e sua diminuição, pelas práticas do cultivo, é um fator de importância na deterioração da estrutura do solo (HAYNES et al., 1991). MARTIN-NETO et al. (1994) estudaram o efeito do cultivo sobre a matéria orgânica em diferentes frações granulométricas do solo (<2 µm, 2-20 µm, 20-50 µm, 50-150 µm e >150 µm). Estes autores identificaram a matéria orgânica

presente na fração 2-20 μm como a que apresentou maior grau de humificação, sofrendo menores mudanças em resposta às práticas de cultivo.

O incremento, ou a diminuição, da matéria orgânica em solos sob cultivo depende, sobretudo, dos conteúdos iniciais de matéria orgânica, bem como do sistema de cultivo adotado. Em geral, os conteúdos de matéria orgânica, em solos tropicais sob cultivo contínuo, diminuem de 30 a 60% dos valores correspondentes dos solos sob vegetação natural, em poucos anos. No entanto, a taxa de declínio pode ser reduzida com algumas práticas de manejo (ANDERSON e FLANAGAN, 1989). Em experimento com solos da Nigéria, foi verificado que os teores de C orgânico e N total diminuíram rapidamente, dois anos após a abertura da área sob floresta para cultivo com milho (AYANABA et al., 1976). Entretanto, quando os resíduos da cultura foram mantidos como cobertura morta no local, o declínio dos níveis de matéria orgânica no solo foi menos acentuado do que quando houve remoção.

O teor de matéria orgânica do solo depende do balanço das taxas de adição e decomposição dos componentes orgânicos (BLAIR et al., 1995), bem como da perda devido à erosão. Os efeitos quantitativos de diferentes manejos de solo e práticas de cultivo têm sido estudados extensivamente. Contudo, há pouca informação disponível sobre as mudanças qualitativas que ocorrem nesses casos. Um dos principais mecanismos, responsáveis pela preservação da matéria orgânica sob sistemas de cultivo conservacionistas, parece ser a formação e a estabilização de macroagregados. Em contraste, a matéria orgânica é mineralizada em maior grau sob cultivo convencional (BEARE et al., 1994a,b). Essa diferença de comportamento pode ser explicada pelo fato de que o conteúdo de matéria orgânica total influencia a estabilidade dos macroagregados e é, portanto, suscetível às mudanças provocadas pelo manejo do solo. Por outro lado, a estabilidade dos microagregados é controlada principalmente pela matéria orgânica estável e, portanto, depende de características intrínsecas do solo, como textura (ELLIOT, 1986).

QUIROGA et al. (1996) estudaram os efeitos de diferentes práticas de manejo do solo sobre a matéria orgânica, por intermédio da técnica do fracionamento físico, classificando três frações diferenciadas da matéria orgânica: matéria orgânica grosseira (100-2.000 μm), formada de resíduos orgânicos incorporados recentemente; matéria orgânica jovem (50-100 μm), constituída de substâncias facilmente decomponíveis e formada por transformações de resíduos orgânicos pela atividade microbiana durante os

últimos 10 a 20 anos; e matéria orgânica estável (<50 µm), associada com as frações minerais finas do solo. Esses autores verificaram que as frações de matéria orgânica diferiram conforme a distribuição do tamanho das partículas e o sistema de manejo de solo. O teor de matéria orgânica estável (<50 µm) relacionou-se significativamente com os teores de argila, enquanto a matéria orgânica grosseira (>100 µm) foi fortemente influenciada pelo tipo de manejo de solo utilizado.

Constituintes lábeis da matéria orgânica do solo diminuem rapidamente após a substituição de vegetação natural pelo cultivo, e novos estados de equilíbrio são atingidos (ZECH et al., 1997). VEGA-COREA (1998) observou maiores teores de C orgânico lábil na área de plantio direto de milho com adição de palha em superfície comparativamente à área sob vegetação natural (Cerrado), atribuindo essas diferenças à palha de milho, que atuaria como fonte suplementar de C orgânico lábil.

SHANG e TIESSEN (1997), trabalhando com Oxissolo da região de Pernambuco, verificaram que o cultivo causou a mineralização da matéria orgânica e a quebra de associações organominerais. Em razão da maior labilidade da matéria orgânica do solo dessa região em relação aos solos de região temperada, o manejo de materiais orgânicos adicionados ao solo, como liteira, resíduos de cultura e cobertura morta, é fundamental para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

A atividade microbiana também é influenciada pelo manejo do solo. NASCIMENTO et al. (1992) observaram menores atividades respiratórias nas amostras de solos de áreas cultivadas, comparativamente às amostras de solos de pastagem e de vegetação natural (Cerrado). Por sua vez, VEGA-COREA (1998) verificou maior liberação de CO₂ nas áreas sob cultivo consorciado e utilização de composto orgânico, nas áreas mais férteis, nas áreas sob vegetação natural e nas áreas em que se utilizaram práticas culturais que tendem à preservação da matéria orgânica do solo.

O cultivo dos solos pode promover alterações nas substâncias húmicas. VEGA-COREA (1998) observou diminuição de todos os componentes húmicos (frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas) em solo cultivado com milho durante 20 anos por sistema convencional de preparo, em relação à área sob vegetação natural. Esse mesmo autor determinou resultados discordantes na comparação do sistema de plantio direto de milho com a vegetação natural (Cerrado), verificando maiores teores de C orgânico em todas as frações húmicas na área sob plantio direto de milho, comparativamente à área sob vegetação natural, indicando a importância do manejo na dinâmica dos componentes húmicos nesses solos. Entretanto, NASCIMENTO et al. (1992), trabalhando com

diversos sistemas de agricultura (vegetação natural, solo cultivado com culturas anuais, pastagem e solo cultivado com cultura cítrica), não encontraram diferenças marcantes entre as frações húmicas (ácidos fúlvicos e ácidos húmicos), sugerindo que o processo de humificação nas áreas estudadas independe do manejo empregado.

A relação C/N dos resíduos de culturas incorporados ao solo influenciam a taxa de decomposição da matéria orgânica. Materiais com relações C/N menores do que 20 decompõem-se rapidamente, acarretando a mineralização do nitrogênio, ao passo que materiais com relações C/N maiores se decompõem lentamente e podem imobilizar o nitrogênio. Além da relação C/N, os teores de lignina e polifenóis também se constituem em indicativos da qualidade da matéria orgânica (SANCHEZ et al., 1989). Assim, o nitrogênio tende a ser mineralizado rapidamente em áreas cultivadas com leguminosas, que têm relações C/N mais estreitas do que outras culturas (gramíneas), quando os resíduos são incorporados ao solo (FERNANDES et al., 1997).

BROWN e LUGO (1990) verificaram menores perdas de N ao substituírem áreas de florestas por pastagens, comparado à substituição por culturas anuais. Atribuíram esse comportamento à constante cobertura do solo pelas gramíneas forrageiras, reduzindo a temperatura do solo e a atividade biológica, bem como às taxas de adição de matéria orgânica tanto da parte aérea quanto do sistema radicular.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização da área

O município de Sete Lagoas (MG) situa-se a uma latitude de 19°28'S, longitude de 44°15'40"W de Greenwich e a uma altitude de 732 metros. O clima, segundo classificação de Köppen, enquadra-se no tipo Aw, com inverno seco e verão quente e úmido. A temperatura média anual é de 22°C, com amplitude de variação térmica de 5°C entre a temperatura média do mês mais quente e a do mês mais frio. A precipitação pluviométrica média anual é de 1.340 mm, apresentando períodos de seca e de chuva bem definidos, sendo dezembro o mês de maior precipitação (305,9 mm), e agosto, o de menor precipitação (6,3 mm).

3.2. Amostragem, preparo e caracterização das amostras de solo

Foram coletadas amostras de um Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa, fase relevo suave ondulado, de duas áreas adjacentes sob diferentes coberturas: vegetação natural (Cerradão) e área cultivada com soja sob plantio direto, pela primeira vez, após o solo ter sido cultivado com milho por sistema convencional (uma aração e duas gradagens) durante um período de aproximadamente 30 anos, ambas localizadas no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo-EMBRAPA, no município de Sete Lagoas, Estado de Minas Gerais. O plantio do milho era feito em outubro/novembro e a colheita em abril, com pousio até o mês de outubro. Geralmente, utilizavam-se 400 kg/ha do formulado 04-30-16 + 0,3% Zn na adubação de plantio do milho.

As amostras de solo foram retiradas em quatro pontos diferentes nas profundidades de 5-10 e 15-20 cm, definidas na área cultivada, em função da resistência à penetração, utilizando para isso um penetrógrafo, a fim de diferenciar a camada superficial, mais solta, daquela menos revolvida em decorrência dos tratos culturais. Os valores médios de resistência à penetração do solo cultivado foram de 31,47 e 35,63 kgf/cm², e os de umidade, de 30,97 e 28,72%, para as profundidades de 5-10 e 15-20 cm, respectivamente.

Para cada profundidade retiraram-se amostras de 5 cm de espessura, deixando-se de amostrar os 5 cm precedentes a cada camada, separada pela resistência à penetração. As mesmas profundidades foram adotadas para a coleta das amostras de solo sob vegetação natural.

Após coletado, o material foi seco ao ar e fracionado, por via seca, em seis classes de agregados: 4,75-2,0; 2,0-1,0; 1,0-0,5; 0,5-0,25; 0,25-0,105; e

<0,105 mm de diâmetro, utilizando-se um agitador Produtest dotado de um conjunto de peneiras de 50x50 cm. Procedeu-se à caracterização química, conforme DEFELIPO e RIBEIRO (1981) (Quadro 1), e física, por métodos propostos pela EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA (1979) (Quadro 2).

Em razão da distribuição desuniforme das raízes nos agregados, fez-se necessária a retirada daquelas não ligadas aos agregados.

Quadro 1 - Caracterização química dos agregados coletados nas profundidades de 5-10 e 15-20 cm de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos

Característica	Classe (mm)					
	4,75-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,105	<0,105
Cerradão (5-10 cm)						
pH em água (1:2,5)	4,8	4,8	4,8	4,7	4,8	4,7
Fósforo (mg/dm ³)	1,9	3,1	3,8	4,0	4,7	5,4
Potássio (cmol _c /dm ³)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,12
Cálcio (cmol _c /dm ³)	1,06	0,84	0,81	0,87	0,90	0,88
Magnésio (cmol _c /dm ³)	0,21	0,20	0,19	0,21	0,22	0,22
Alumínio (cmol _c /dm ³)	0,90	0,80	0,80	1,00	1,00	1,30
H + Al (cmol _c /dm ³)	8,58	7,92	7,92	8,91	8,58	9,57
Milho (5-10 cm)						
pH em água (1:2,5)	4,9	4,9	4,8	4,8	4,8	4,8
Fósforo (mg/dm ³)	12,3	16,8	14,6	18,2	19,3	25,6
Potássio (cmol _c /dm ³)	0,31	0,24	0,27	0,29	0,28	0,29
Cálcio (cmol _c /dm ³)	0,70	0,65	0,65	0,72	0,72	0,84
Magnésio (cmol _c /dm ³)	0,14	0,15	0,15	0,17	0,16	0,18
Alumínio (cmol _c /dm ³)	0,90	0,90	1,00	1,00	1,20	1,10
H + Al (cmol _c /dm ³)	8,58	7,92	9,24	9,57	10,56	11,55
Cerradão (15-20 cm)						
pH em água (1:2,5)	4,8	4,8	4,7	4,7	4,7	4,8
Fósforo (mg/dm ³)	1,7	2,5	2,9	3,5	3,8	4,2
Potássio (cmol _c /dm ³)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06
Cálcio (cmol _c /dm ³)	0,29	0,33	0,34	0,34	0,39	0,46
Magnésio (cmol _c /dm ³)	0,11	0,11	0,12	0,16	0,16	0,17
Alumínio (cmol _c /dm ³)	0,80	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00
H + Al (cmol _c /dm ³)	7,92	6,60	7,59	8,25	8,58	9,24

	Milho (15-20 cm)					
pH em água (1:2,5)	4,9	4,9	4,8	4,7	4,7	4,7
Fósforo (mg/dm ³)	4,0	4,0	4,0	5,4	6,3	7,9
Potássio (cmol _c /dm ³)	0,17	0,17	0,20	0,21	0,20	0,20
Cálcio (cmol _c /dm ³)	0,52	0,52	0,53	0,60	0,60	0,76
Magnésio (cmol _c /dm ³)	0,18	0,17	0,20	0,19	0,19	0,20
Alumínio (cmol _c /dm ³)	1,00	0,90	1,00	1,00	1,20	1,00
H + Al (cmol _c /dm ³)	9,57	8,25	8,91	9,90	10,23	11,22

Quadro 2 - Caracterização física dos agregados coletados nas profundidades de 5-10 e 15-20 cm de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos

Característica	Classe (mm)					
	4,75-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,105	<0,105
	kg/kg					
	Cerradão (5-10 cm)					
Areia grossa	0,079	0,192	0,159	0,104	0,029	0,000
Areia fina	0,032	0,025	0,023	0,027	0,095	0,021
Silte	0,129	0,109	0,102	0,101	0,084	0,157
Argila	0,760	0,674	0,716	0,768	0,793	0,822
Equivalente de umidade	0,311	0,300	0,294	0,305	0,317	0,418
	Milho (5-10 cm)					
Areia grossa	0,103	0,341	0,266	0,149	0,022	0,000
Areia fina	0,042	0,025	0,024	0,035	0,129	0,032
Silte	0,206	0,148	0,156	0,201	0,168	0,247
Argila	0,649	0,486	0,554	0,615	0,681	0,721
Equivalente de umidade	0,307	0,285	0,272	0,299	0,318	0,437
	Cerradão (15-20 cm)					
Areia grossa	0,075	0,179	0,157	0,101	0,023	0,000
Areia fina	0,027	0,025	0,022	0,023	0,088	0,023
Silte	0,116	0,084	0,095	0,085	0,085	0,126

Argila	0,782	0,712	0,726	0,791	0,804	0,851
Equivalente de umidade	0,301	0,288	0,285	0,299	0,312	0,393
Milho (15-20 cm)						
Areia grossa	0,096	0,282	0,230	0,132	0,019	0,000
Areia fina	0,038	0,027	0,025	0,031	0,098	0,022
Silte	0,165	0,148	0,127	0,151	0,126	0,167
Argila	0,701	0,543	0,618	0,686	0,757	0,811
Equivalente de umidade	0,311	0,290	0,280	0,309	0,327	0,415

3.3. Determinações experimentais

Os tratamentos, correspondentes à combinação fatorial entre as seis classes de agregados e os dois tipos de utilização do solo, foram trabalhados segundo um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, que corresponderam aos pontos analisados. A profundidade de amostragem não foi considerada como fator, dada a dependência que existe entre as camadas do solo, sendo, assim, analisada separadamente, em relação aos tratamentos supracitados.

3.3.1. Carbono orgânico total

Determinaram-se os teores de carbono orgânico total (COT) dos agregados não-triturados e triturados em almofariz e passados em peneira de 0,210 mm por oxidação da matéria orgânica por via úmida, utilizando-se solução de $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido (YEOMANS e BREMNER, 1988).

O procedimento metodológico consistiu na pesagem de 0,1 a 0,2 g do material de cada classe de agregados. Após pesados, os materiais foram colocados em tubos de digestão, receberam 5 mL de $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol/L e 7,5 mL de H_2SO_4 concentrado e foram levados a bloco digestor a 170°C por 30

minutos. Após o resfriamento, o conteúdo dos tubos foi transferido quantitativamente para erlenmeyers de 125 mL, utilizando-se água destilada suficiente para obter um volume final de aproximadamente 50 mL. Em seguida, foram adicionados 2 mL de H₃PO₄ concentrado, aproximadamente 0,2 g de NaF e duas a três gotas de solução indicadora de ferroin.

A titulação foi feita com Fe(NH₄)₂(SO₄)₂ 0,25 mol/L. Paralelamente, foram realizadas provas em branco, com e sem aquecimento.

O volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação (V) foi calculado pela relação:

$$V = (V_{bc} - V_a) \frac{(V_{bs} - V_{bc})}{V_{bs}} + (V_{bc} - V_a) \quad (1)$$

em que

V_{bc}: volume gasto de Fe(NH₄)₂(SO₄)₂ na titulação do branco com aquecimento (L);

V_{bs}: volume gasto de Fe(NH₄)₂(SO₄)₂ na titulação do branco sem aquecimento (L); e

V_a: volume gasto de Fe(NH₄)₂(SO₄)₂ na titulação da amostra (L).

Os teores de carbono orgânico total (COT), em g/kg, foram calculados pela seguinte expressão:

$$COT = \frac{V M 3}{m_{solo}} \quad (2)$$

em que

M: concentração do Fe(NH₄)₂(SO₄)₂ (mol/L);

3 = 12 [(3/2)(1/6)], sendo 12: massa molar do do carbono (g/mol); 3/2: relação de três moles de CO₂ produzidos para dois moles de C₂O₇²⁻ reduzidos; 1/6: relação molar entre um mol de Fe²⁺ oxidado para seis moles de C₂O₇²⁻ reduzidos na titulação; e

m_{solo}: massa da amostra de agregados de solo (kg).

3.3.2. Substâncias húmicas

3.3.2.1. Extração e fracionamento

O fracionamento químico das substâncias húmicas foi realizado com base nas características de solubilidade diferencial, obtendo como produtos as seguintes frações: ácidos fúlvicos (AF) - solúveis em ácido e em álcali; ácidos húmicos (AH) - solúveis em álcali e insolúveis em ácido; e huminas (HUM) - insolúveis em ácido e em álcali (SCHNITZER, 1982).

Na extração, 1,5 g do material de cada classe de agregados, triturados em almofariz e passados em peneira de 0,210 mm, foi colocado em tubos de centrífuga de 115 mL, onde recebeu a adição de 15 mL de solução de NaOH 0,1 mol/L, agitado por uma hora em agitador horizontal e deixado em repouso por 24 horas. Após o repouso, o conjunto de extração foi centrifugado a 9.000 g por 20 minutos, transferindo-se o sobrenadante para tubos de centrífuga de mesma capacidade (115 mL) e reservando-o. Os tubos de centrífuga de 115 mL receberam novamente 15 mL da solução de NaOH 0,1 mol/L, ressuspensando-se o precipitado, e deixados em repouso por uma hora. Após este período, as suspensões foram centrifugadas a 9.000 g por 20 minutos. Esse procedimento foi repetido, seqüencialmente, por mais duas vezes. Todos os sobrenadantes foram misturados, totalizando-se um volume de 60 mL.

O sedimento remanescente nos tubos de centrífuga, incluindo a fração HUM e a matriz mineral do solo, foi transferido para tubos de digestão de 100 mL e seco em estufa a 45°C.

O sobrenadante, contendo as frações AF e AH dissolvidas, teve o seu pH ajustado para valor inferior a dois com solução de H₂SO₄ 3,64 mol/L, possibilitando a precipitação da fração AH. Para total precipitação, a suspensão ficou de repouso por 18 horas, separando-se a fração AH da fração solúvel por centrifugação a 5.000 g por 10 minutos.

A porção solúvel do extrato acidificado, correspondente à fração AF, foi transferida para balão volumétrico de 100 mL e teve o seu volume aferido com

água destilada. O precipitado (AH) recebeu aproximadamente 50 mL de solução de NaOH 0,1 mol/L, foi agitado e deixado em repouso por uma hora. Após redissolução, o volume foi aferido a 100 mL com a mesma solução de NaOH.

3.3.2.2. Determinação do carbono orgânico das frações húmicas

A determinação do C orgânico das frações AF e AH, obtidas na extração, foi feita utilizando-se o processo de dicromatometria com aquecimento externo proposto por YEOMANS e BREMNER (1988).

O método consistiu na transferência de uma alíquota de 5 mL de cada fração para tubos de digestão, adicionando-se 5 mL de $K_2Cr_2O_7$ 0,0167 e 0,0083 mol/L para as frações AH e AF, respectivamente, e 10 mL de H_2SO_4 concentrado. Após agitação, os tubos foram colocados em bloco digestor, pré-aquecido a 170°C, por 30 minutos.

Os extratos digeridos e resfriados foram transferidos quantitativamente para erlenmeyers de 125 mL, utilizando água destilada suficiente para um volume final de aproximadamente 50 mL. Logo, foram adicionados 2 mL de H_3PO_4 concentrado, aproximadamente 0,2 g de NaF e duas a três gotas do indicador ferroin. A titulação foi feita com solução de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ 0,02 e 0,01 mol/L para as frações AH e AF, respectivamente. Para esse processo, foram utilizados quatro brancos, sendo dois com aquecimento e dois sem aquecimento.

Para a fração HUM, o material seco em estufa a 45°C recebeu 10 mL de solução de $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol/L e 15 mL de H_2SO_4 concentrado. A partir deste passo, o procedimento foi o mesmo descrito para as frações AH e AF, utilizando-se, contudo, solução mais concentrada de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ na titulação (0,4 mol/L). O cálculo dos teores de C orgânico nesta fração foi feito da mesma forma que para o COT.

Os teores de C orgânico, em g/kg, das frações AF e AH foram calculados pela seguinte expressão:

$$C_{AF} \text{ ou } C_{AH} = \frac{V M 3}{m_{\text{solo}}} \frac{V_T}{V_P} \quad (3)$$

em que

V_T : volume total aferido (L); e

V_p : volume pipetado (L).

3.3.3. Evolução de CO₂

Amostras de 100 g de agregados não-triturados foram umedecidas a 80% do equivalente de umidade e incubadas em respirômetro sob circulação forçada de ar livre de CO₂, em condições de laboratório, conforme descrito por CURL e RODRIGUEZ-KABANA (1972) e SOUZA (1998).

A captura do CO₂, resultante da atividade microbiana, foi feita em solução de NaOH. O sistema utilizado é apresentado, esquematicamente, na Figura 1. Entre os erlenmeyers H e I foi colocado um controlador do fluxo de ar, regulando-se assim o número de bolhas na solução contida no erlenmeyer I para 20 a 30 bolhas por minuto. Um dos terminais da linha de distribuição foi diretamente conectado a um erlenmeyer com solução de NaOH 0,25 mol/L, funcionando como branco.

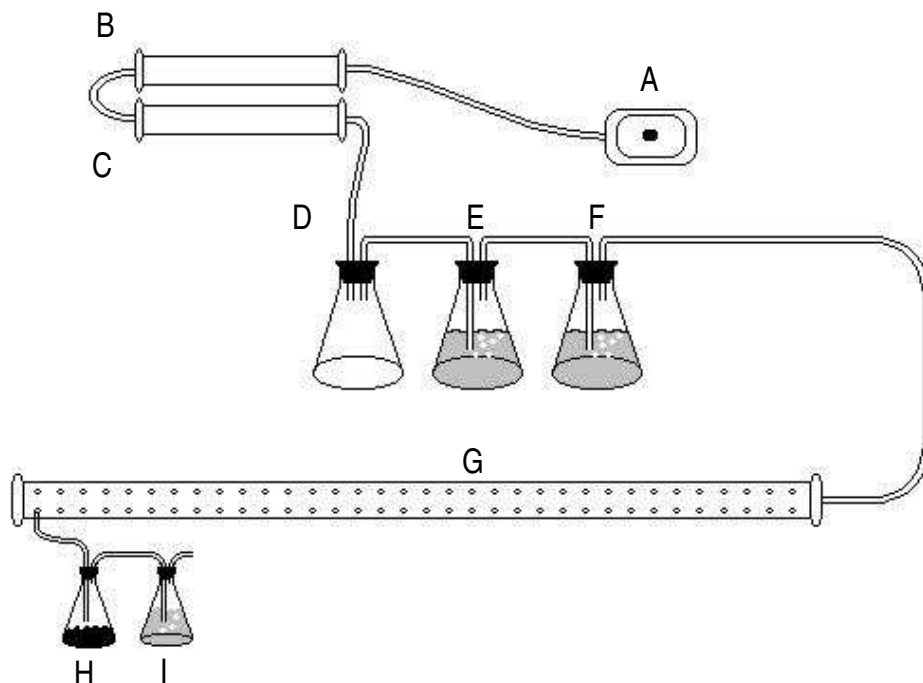


Figura 1 - Esquema do respirômetro utilizado na determinação da evolução do CO_2 . A: compressor; B, filtro contendo sílica-gel; C, filtro contendo NaOH em lentilhas; D, captador de refluxo; E, solução de NaOH 1 mol/L; F, solução de $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 1%; G, linha de distribuição; H, amostra de agregados (100 g); I, solução de NaOH 0,25 mol/L (100 mL), usado na captura do CO_2 produzido (adaptado de SOUZA, 1998).

O CO_2 produzido foi recolhido por borbulhamento em erlenmeyer de 250 mL, contendo NaOH 0,25 mol/L. A troca dos erlenmeyers de captura do CO_2 (I) nos primeiros sete dias foi feita a cada 24 horas, nos 10 dias subsequentes a cada 48 horas, e, posteriormente, a cada 96 horas, até completar 37 dias. Cada erlenmeyer retirado foi vedado e tomou-se uma alíquota de 10 mL para dosar o CO_2 capturado. Para isso, a alíquota foi transferida para erlenmeyer de 125 mL, adicionando-se 10 mL de BaCl_2 0,25 mol/L e duas a três gotas de solução de fenolftaleína 1%, titulando-se em seguida com HCl 0,1 mol/L.

A quantidade de CO_2 desprendida de cada amostra de agregados, no período de monitoramento (37 dias), foi calculada pela seguinte expressão:

$$\text{CO}_2 \text{ (g/kg)} = (V_B - V_A) M \frac{V_T}{V_P} \frac{22}{m_{\text{solo}}} \quad (4)$$

em que

V_B : volume de HCl utilizado na titulação do branco (L);

V_A : volume de HCl utilizado na titulação da amostra (L);

M: concentração de HCl (mol/L);

V_T : volume total de NaOH usado na captura do CO_2 (L);

V_P : volume de NaOH pipetado na titulação (L);

22: g/mol de CO_2 ; e

m_{solo} : massa da amostra de agregados de solo (kg).

A quantidade total de CO_2 produzido foi igual ao somatório dos valores obtidos durante cada amostragem.

Os valores da produção de CO_2 foram expressos também em g/kg de COT. Essa expressão permitiu inferir o comportamento do C mineralizável, em termos quantitativos, em relação ao COT dos agregados de solo.

Decorridos os 37 dias do experimento, as amostras de agregados de solo foram secas à temperatura ambiente, determinando-se, posteriormente, o carbono orgânico solúvel em água e o carbono orgânico lábil.

3.3.4. Carbono orgânico solúvel em água

Amostra de 10 g do material de cada classe de agregados, triturada em almofariz e passada em peneira de 0,210 mm, foi colocada em erlenmeyer de 125 mL, juntamente com 20 mL de água deionizada. A suspensão foi agitada por 15 minutos e centrifugada a 1.233 g por 20 minutos. O volume do sobrenadante foi filtrado em papel previamente umedecido com água, reservando-se o filtrado.

A determinação do carbono orgânico solúvel em água (COS) foi feita por colorimetria, conforme o método de BARTLETT e ROSS (1988). Sequencialmente, adicionaram-se, em tubos de ensaio de 50 mL, alíquotas de 2,5 mL do filtrado, 2,5 mL de água deionizada, 2,5 mL de solução de pirofosfato-

Mn(III) 0,01 mol/L e 2,5 mL de H₂SO₄ concentrado. A solução de pirofosfato-Mn(III) 0,01 mol/L foi preparada pela adição seqüencial de 100 mL de água deionizada, 75 mL de Na₂P₂O₇ 0,1 mol/L, 11,5 mL de H₂SO₄ 0,5 mol/L, 5 mL de KMnO₄ 0,1 mol/L e 20 mL de MnSO₄ 0,1 mol/L, completando-se o volume para 250 mL com água deionizada.

A curva-padrão foi preparada com solução de ácido oxálico nas concentrações de 0, 0,2, 0,4, 0,8, 1,2, 1,6 e 2,0 mmol/L de C. A curva e as amostras foram deixadas em repouso por 18 horas, e a leitura foi feita em espectrofotômetro no comprimento de onda de 495 nm.

Para verificar as possíveis diferenças nos teores de COS nos agregados de solo, devido à atividade microbiana, foram realizadas determinações dessa forma de carbono antes e após o experimento de evolução de CO₂.

Os teores de COS foram calculados pela seguinte expressão:

$$\text{COS (mg/kg)} = X \frac{V_E}{m_{\text{solo}}} \frac{V_T}{V_P} 12 \quad (5)$$

em que

X: concentração do COS calculada por meio de curva-padrão (mmol/L);

V_E: volume de água deionizada usado na extração do COS (0,02 L);

m_{solo}: massa da amostra de agregados de solo (kg);

V_T: volume total usado na determinação do COS (L);

V_P: volume pipetado (L); e

12: massa de carbono (mg/mmol).

3.3.5. Carbono orgânico lábil

A determinação do carbono orgânico lábil (COL) foi feita pelo método proposto por BLAIR et al. (1995), modificado por SHANG e TIESSEN (1997).

Amostras de 0,6 g do material dos agregados, triturados em almofariz e passados em peneira de 0,210 mm, contendo aproximadamente 15 mg de carbono orgânico total (COT), foram colocadas em tubos de centrifuga de 30 mL, adicionando-se 25 mL de solução de KMnO_4 33,0 mmol/L para oxidar o COL. Os tubos foram agitados por uma hora, a 12 rpm, em agitador rotatório e logo centrifugados a 626 g por cinco minutos. Um mL do sobrenadante foi transferido para balão volumétrico de 250 mL, completando-se o volume com água deionizada.

Paralelamente, preparou-se uma curva-padrão, com concentrações entre 18,0 e 33,0 mmol/L de KMnO_4 . As leituras foram realizadas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 565 nm.

Os teores de COL foram calculados pela seguinte expressão:

$$\text{COL (g/kg)} = (0,033 - X) \frac{0,75 \times 12 \times 0,025}{m_{\text{solo}}} \quad (6)$$

em que

0,033: concentração de KMnO_4 utilizada na oxidação da amostra (mol/L);

X: concentração de KMnO_4 após oxidação (mol/L);

0,75: fator de conversão, considerando que 1 mol de KMnO_4 é consumido na oxidação de 0,75 mol de carbono;

12: massa atômica do carbono (g/mol);

0,025: volume de KMnO_4 utilizado na oxidação da amostra (L); e

m_{solo} : massa da amostra de agregados de solo (kg).

Além do COL determinado com KMnO_4 33,0 mmol/L, determinou-se também o COL com KMnO_4 15,6 mmol/L, antes e após o experimento de evolução de CO_2 . Para os cálculos dos teores de COL obtidos por essa concentração de KMnO_4 , substituiu-se 0,033 por 0,0156 na expressão anterior (6).

3.3.6. Nitrogênio total

A determinação do nitrogênio total (NT) foi feita pelo método de Kjeldahl, descrito por TEDESCO et al. (1985). Para isso, pesou-se 0,5 g do material dos agregados, triturados em almofariz e passados em peneira de 0,210 mm. Ao material, colocado em tubo de digestão, adicionaram-se 5 mL de H_2SO_4 concentrado e 0,7 g de mistura digestora em tubo de digestão. Esta mistura foi preparada em almofariz com 200 g de Na_2SO_4 , 20 g de $CuSO_4$ e 2 g de selênio metálico.

Após adicionados a amostra de agregados e os reagentes, os tubos foram levados ao bloco digestor, aumentando-se a temperatura gradualmente, até atingir entre $360^{\circ}C$ e $410^{\circ}C$. Após o resfriamento dos tubos, iniciou-se o processo de destilação, adaptando-se o tubo de digestão ao destilador. Na saída do condensador do destilador colocou-se um erlenmeyer de 125 mL contendo 25 mL da solução indicadora em ácido bórico. Os tubos com material digerido receberam a adição de 20 mL de NaOH 40%, processando-se a destilação até se obter um volume de aproximadamente 50 mL.

A solução indicadora em ácido bórico foi preparada dissolvendo-se 40 g de H_3BO_3 em 1.400 mL de água destilada quente. Após resfriada, adicionaram-se 400 mL de etanol 95% e 40 mL de solução indicadora mista, completando-se o volume para 2.000 mL. Por sua vez, preparou-se a solução indicadora mista dissolvendo-se 0,066 g de verde-de-bromocresol e 0,033 g de vermelho-de-metila em 100 mL de etanol 95%.

A solução, de coloração azul, obtida na destilação foi titulada com HCl 0,05 mol/L, padronizado com Na_2CO_3 , até viragem para coloração alaranjada.

Os teores de NT, em g/kg, foram calculados pela expressão:

$$NT = \frac{(V_A - V_B) M 14}{m_{\text{solo}}} \quad (7)$$

em que

V_A : volume de HCl gasto na titulação da amostra (L);

V_B : volume de HCl gasto na titulação do branco (L);

M: concentração de HCl (mol/L);

14: massa de nitrogênio (g/mol); e

m_{solo} : massa da amostra de agregados de solo (kg).

3.3.7. Nitrogênio mineralizado anaerobicamente

A determinação do nitrogênio mineralizado anaerobicamente (NMA) foi feita pelo método descrito por KEENEY (1982).

Amostras de 5,0 g do material dos agregados, triturados em almofariz e passados em peneira de 0,210 mm, foram acondicionadas em tubos de ensaio, adicionando-se 12,5 mL de água destilada. Os tubos de ensaio foram vedados com tampas de plástico, para manter o ambiente anaeróbico, evitando que ocorresse a nitrificação. Após, as amostras foram mantidas em incubadora a 40°C por sete dias.

Decorrido o período de incubação, o conteúdo dos tubos foi transferido quantitativamente para frascos de destilação de 150 mL, utilizando-se para isso 12 a 15 mL de solução de KCl 1 mol/L. Os frascos de destilação receberam também a adição de 0,2 g de MgO. O NH_4^+ presente na amostra de agregados foi dosado a partir da quantidade de NH_3 liberada pela destilação em meio alcalino e que foi recolhida em erlenmeyer de 125 mL, contendo 5 mL da solução indicadora em ácido bórico.

A solução obtida na destilação foi titulada com solução padronizada de H_2SO_4 0,0025 mol/L. Paralelamente, determinou-se a presença de NH_4^+ nas amostras do material dos agregados não-incubados.

Os teores de NH_4^+ , em mg/kg, foram calculados pela expressão:

$$\text{NH}_4^+ = \frac{(V_A - V_B) M 14}{m_{\text{solo}}} \quad (8)$$

em que

V_A : volume de H_2SO_4 gasto na titulação da amostra (L);

V_B : volume de H_2SO_4 gasto na titulação do branco (L);

M: concentração de H_2SO_4 (mmol/L);

14: massa de nitrogênio (mg/mmol); e

m_{solo} : massa da amostra de agregados de solo (kg).

Pela diferença entre os teores de NH_4^+ das amostras de agregados incubadas e os das não-incubadas calculou-se o NMA.

3.4. Análises Estatísticas

Para a análise estatística, utilizou-se o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG). Realizaram-se análises de variância (Quadro 3) e de regressão, relacionando as variáveis estudadas com o diâmetro médio dos agregados, para cada cobertura do solo (cerradão e milho).

Quadro 3 – Fonte de variação e distribuição dos graus de liberdade considerados nas análises de variâncias das variáveis de respostas

Fonte de variação	GL
Blocos	3
Cobertura	1
Classe d/Cerradão	5

Resíduo	Classe d/Milho	33
---------	----------------	----

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Carbono orgânico total

Os agregados do solo sob cultivo com milho apresentaram teores de carbono orgânico total (COT) superiores ao solo sob vegetação natural (Quadro 4). O teor de matéria orgânica do solo depende do balanço das taxas de adição e de perdas do carbono orgânico por erosão, lixiviação e, principalmente, mineralização (BAYER e MIELNICZUK, 1999). A adição anual dos restos culturais de milho, por aproximadamente 30 anos, promoveu a elevação dos teores de COT nos agregados do solo cultivado (Quadro 4). O uso de fertilizantes químicos na área cultivada favoreceu as maiores produções de matéria seca e, conseqüentemente, os incrementos nos teores de COT, devido ao aporte orgânico. De acordo com SANCHEZ et al. (1989), a quantidade de resíduos orgânicos adicionados por determinados agroecossistemas pode, em alguns casos, exceder a de sistemas naturais. Por sua vez, VEGA-COREA (1998), trabalhando com as mesmas coberturas vegetais e com material desse solo passado em peneira de 2 mm, obteve maiores valores de COT na área sob Cerradão.

Quadro 4 - Teores de carbono orgânico total em material de classes de agregados, não-triturados e triturados, coletados nas profundidades de 5-10 (P₁) e 15-20 cm (P₂) de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos

Classe	DM ⁽¹⁾ mm	Agregados Não-Triturados			Agregados Triturados		
		P ₁	P ₂	P ₁ /P ₂	P ₁	P ₂	P ₁ /P ₂
		g/kg			g/kg		
Cerradão							
4,75-2,0	3,375	21,90	19,88	1,12	28,51	24,38	1,17
2,0-1,0	1,5	25,47	23,13	1,11	29,12	23,87	1,22
1,0-0,5	0,75	23,74	19,94	1,19	26,09	22,87	1,14
0,5-0,25	0,375	23,66	20,30	1,18	26,15	22,97	1,14
0,25-0,105	0,1775	25,46	21,78	1,18	26,75	23,69	1,13
<0,105	0,0525	34,40	28,73	1,20	35,93	28,68	1,25
\bar{Y} (2)		25,77B	22,29B	1,16A	28,76B	24,41B	1,18A
Milho							
4,75-2,0	3,375	25,71	23,82	1,08	31,65	27,41	1,15
2,0-1,0	1,5	24,91	23,81	1,05	29,44	29,31	1,00
1,0-0,5	0,75	24,22	24,27	1,00	25,59	25,03	1,03
0,5-0,25	0,375	25,32	26,68	0,95	28,76	28,91	1,00
0,25-0,105	0,1775	27,35	26,58	1,03	31,18	29,51	1,06
<0,105	0,0525	39,18	33,93	1,16	36,85	37,93	0,97
\bar{Y} (2)		27,78A	26,52A	1,05B	30,58A	29,68A	1,04B

⁽¹⁾ Diâmetro médio da classe de agregados.

⁽²⁾ Letras diferentes, na mesma coluna, indicam diferença para cobertura do solo a 5% pelo teste F.

Provavelmente, a retirada das raízes, não ligadas aos agregados, na separação dos agregados por peneiramento, contribuiu para os menores valores de COT no Cerradão. Sob essa cobertura, as raízes, que são constituintes da matéria orgânica e que contribuem para os valores de COT, estavam presentes em maior proporção em relação ao solo sob cultivo com milho.

A presença de uma camada mais compactada, observada com penetrógrafo na área cultivada, a partir de 10 cm, decorrente da utilização de sistema convencional de preparo do solo, favoreceu a diminuição das perdas de matéria orgânica por lixiviação neste sistema e, conseqüentemente, a ocorrência de maiores valores de COT, apesar de DALAL e MAYER (1986) considerarem essas perdas de carbono orgânico relativamente desprezíveis. Além disso, quando os solos são submetidos a cultivos intensivos, modificações físicas, como a

compactação, podem limitar o crescimento e a atividade dos microrganismos (SIQUEIRA e FRANCO, 1988), alterando a atmosfera do solo e diminuindo, assim, a taxa de decomposição da matéria orgânica.

Diferentemente, as perdas de carbono orgânico por erosão no solo cultivado devem ser maiores. De acordo com CARVALHO (1998), a desagregação desse solo ocasionada pelo seu revolvimento, o tipo de cobertura oferecida pelo milho e a declividade do local (8%) são fatores que podem aumentar sua erodibilidade.

Portanto, pelos valores de COT observados, pode-se inferir que as quantidades de material orgânico adicionado superaram as quantidades perdidas no solo cultivado, comparativamente ao solo sob vegetação natural.

Entretanto, considerando a implantação da cultura de soja no ano agrícola em que foi realizada a amostragem do solo, espera-se, com o tempo, uma mineralização mais rápida da matéria orgânica, caso haja continuidade do plantio dessa cultura nos anos subseqüentes, já que seus resíduos têm menor relação C/N do que os de milho.

No solo sob Cerradão, observaram-se menores teores de COT na profundidade 15-20 cm, enquanto no solo sob cultivo de milho praticamente não houve variação dos teores de COT entre as profundidades, o que é evidenciado pela relação entre a profundidade de 5-10 e a de 15-20 cm (P_1/P_2), a qual se aproximou mais do valor unitário no solo cultivado (Quadro 4). Em função do revolvimento do solo pelo cultivo convencional, incorporando material orgânico, os teores de COT foram mais elevados em profundidade no solo cultivado com milho, comparativamente ao Cerradão. CARVALHO (1998) encontrou resultados semelhantes, trabalhando com agregados separados da mesma classe de solo e na mesma área.

Outro fator que pode estar contribuindo para os maiores valores de COT na profundidade de 15-20 cm no solo sob cultivo de milho é que o ambiente do solo nessa profundidade tende a apresentar condições de aeração menos satisfatórias do que no solo sob Cerradão. De acordo com TSAI et al. (1992), em geral, o O_2 diminui e o CO_2 aumenta em profundidade. Considerando que o

crescimento e a atividade da microbiota são governados por alterações na atmosfera do solo e que os microrganismos são peças fundamentais na mineralização da matéria orgânica, essas condições tendem a favorecer o acúmulo de COT.

A trituração dos agregados do solo expôs o carbono orgânico localizado no interior dos agregados (intra-agregados), permitindo a obtenção de maiores valores de COT em relação aos agregados não-triturados (Quadro 4). Isso decorre do fato de o carbono orgânico na superfície dos agregados ser mais acessível à oxidação pelo dicromato de potássio em relação ao carbono orgânico intra-agregados.

A diferença entre os teores de COT dos agregados triturados e dos não-triturados indica a quantidade de carbono orgânico fisicamente protegido no interior dos agregados. Os maiores teores de carbono orgânico protegido foram observados nos agregados de maior tamanho. Por sua vez, a quantidade desses agregados diminui com o cultivo intensivo do solo. Assim, sua preservação no solo é de grande importância, considerando a função que a matéria orgânica protegida desempenha na CTC do solo e, conseqüentemente, na dinâmica dos nutrientes.

Foram ajustadas equações de regressão para os teores de COT dos agregados em função do diâmetro médio da classe de agregados (Figura 2).

A Figura 2 mostra o incremento no teor de COT com a diminuição do tamanho dos agregados, com destaque para o de menor diâmetro. Na separação dos agregados por peneiramento, dados os limites impostos para as diferentes classes de agregados, houve, naturalmente, exclusão das areias com a diminuição do tamanho dos agregados, acarretando incremento na proporção de silte e argila na menor classe de agregados (Quadro 2). De forma semelhante, ROSA (1998) encontrou maiores valores de COT em agregados menores que 0,25 mm. Por sua vez, BAYER (1996) verificou redução nas taxas de decomposição da matéria orgânica com a diminuição do tamanho de partículas e o conseqüente aumento da interação com minerais de argila, como caulinita e óxidos, reforçando, assim, a

importância da proteção química e estrutural na preservação da matéria orgânica do solo.

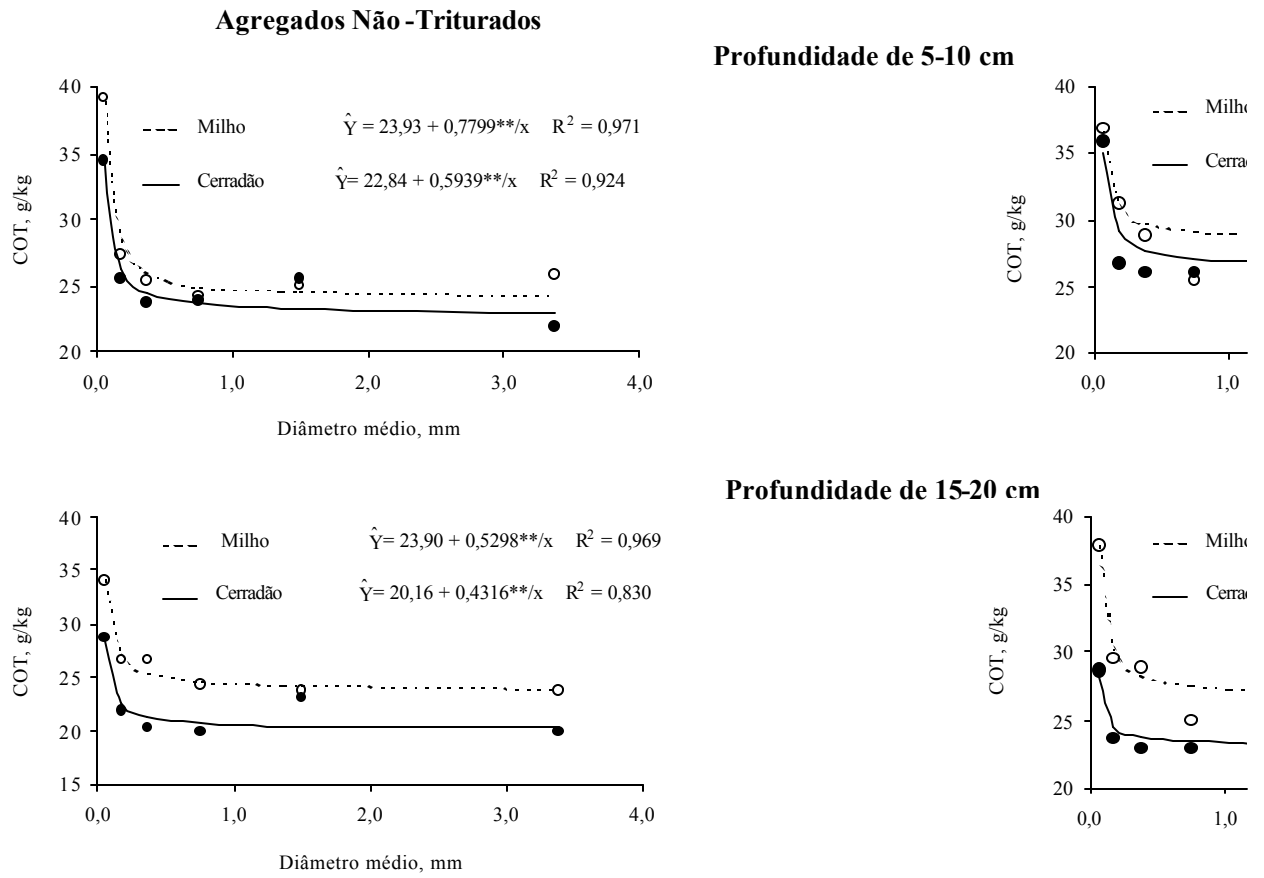


Figura 2 - Carbono orgânico total (COT) nos agregados não-triturados e triturados em relação Latossolo Vermelho, considerando a profundidade de amostragem e a cobertura de teste F.

4.2. Substâncias húmicas

No Quadro 5 são apresentados os teores de carbono orgânico das frações ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e huminas (HUM). A utilização do termo fração acompanhado da substância húmica (AF, AH ou HUM) deve-se à possível presença de outros compostos orgânicos, geralmente de menor peso molecular, os quais não fazem parte das substâncias húmicas verdadeiras.

Os maiores valores encontrados para a fração AF na profundidade de 15-20 cm do solo sob cultivo com milho (Quadro 5) indicam a maior mobilidade desta fração. Esses resultados se assemelham aos obtidos por MENDONÇA (1992) em um Latossolo após diferentes períodos de cultivo. A constatação desse comportamento é evidenciada pelos valores inferiores à unidade da relação entre as profundidades de 5-10 e 15-20 cm ($P_1/P_2 = 0,97$).

Mesmo com a quebra dos agregados do solo pelo cultivo convencional, expondo mais a matéria orgânica ao ataque dos microrganismos, verificaram-se teores consistentemente superiores de carbono orgânico da fração AH no solo sob cultivo com milho (Quadro 5). A explicação para esse comportamento é que, devido ao fato de os resíduos culturais do milho apresentarem lenta decomposição, favorece-se o processo de humificação em detrimento do processo de mineralização. Com isso, ocorre proteção química das substâncias húmicas, decorrente de sua interação com a fração mineral do solo.

Quadro 5 - Teores de carbono orgânico das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas em material de classes de agregados coletados nas profundidades de 5-10 (P₁) e 15-20 cm (P₂) de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos

Classe	DM ⁽¹⁾ mm	Ácidos Fúlvicos			Ácidos Húmicos			Huminas		
		P ₁	P ₂	P ₁ /P ₂	P ₁	P ₂	P ₁ /P ₂	P ₁	P ₂	P ₁ /P ₂
		g/kg			g/kg			g/kg		
Cerradão										
4,75-2,0	3,375	6,51	5,80	1,13	7,09	5,68	1,26	12,90	9,54	1,35
2,0-1,0	1,5	6,23	5,98	1,05	7,09	5,71	1,26	11,84	9,52	1,25
1,0-0,5	0,75	6,10	5,66	1,08	6,80	5,19	1,33	11,02	8,16	1,35
0,5-0,25	0,375	6,22	5,79	1,08	6,71	5,35	1,27	10,77	8,83	1,22
0,25-0,105	0,1775	6,21	5,84	1,07	6,88	5,36	1,29	10,64	8,87	1,20
<0,105	0,0525	7,24	6,74	1,08	8,37	6,35	1,31	12,86	9,79	1,31
\bar{Y} (2)		6,42A	5,97B	1,08A	7,16B	5,61B	1,29A	11,67A	9,12B	1,28A
Milho										
4,75-2,0	3,375	6,27	6,52	0,96	8,90	8,35	1,07	12,87	10,54	1,26
2,0-1,0	1,5	6,00	6,17	0,98	9,39	8,41	1,12	12,74	11,61	1,10
1,0-0,5	0,75	5,60	5,98	0,94	8,39	7,92	1,07	9,78	10,09	1,00
0,5-0,25	0,375	6,20	6,35	0,98	9,48	8,71	1,09	10,68	9,88	1,09
0,25-0,105	0,1775	6,46	6,68	0,97	9,64	9,06	1,07	11,95	10,04	1,19
<0,105	0,0525	7,30	7,40	0,99	11,91	10,35	1,15	14,04	11,78	1,19
\bar{Y} (2)		6,31A	6,52A	0,97B	9,62A	8,80A	1,10B	12,01A	10,66A	1,14B

⁽¹⁾ Diâmetro médio da classe de agregados.

⁽²⁾ Letras diferentes, na mesma coluna, indicam diferença para cobertura do solo a 5% pelo teste F.

Os teores superiores de carbono orgânico da fração AH encontrados na profundidade de 5-10 cm (Quadro 5) se devem à menor mobilidade desta fração em relação aos ácidos fúlvicos. Esse comportamento foi bastante evidente no Cerradão, sendo confirmado pelos maiores valores da relação P₁/P₂. Resultados semelhantes foram obtidos por LONGO (1982). Para o solo cultivado, a incorporação de resíduos culturais possibilitou menores diferenças em profundidade e, portanto, redução nos valores da relação P₁/P₂ (Quadro 5).

Dentre as frações húmicas, as huminas (HUM) foram as que apresentaram maiores valores de carbono orgânico, superiores na profundidade de 5-10 cm, principalmente no Cerradão (Quadro 5). O revolvimento do solo,

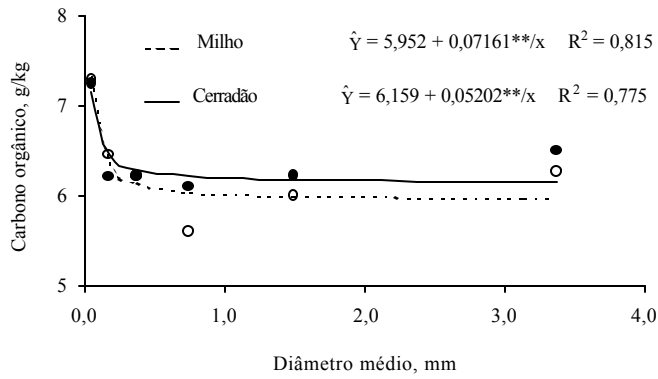
incorporando matéria orgânica, contribuiu para as menores diferenças em profundidade encontradas no solo cultivado. MENDONÇA (1988) verificou que mais da metade do COT dos agregados se encontrava na fração humina. De acordo com STEVENSON (1982), as huminas, por serem constituídas de moléculas de cadeias longas e apresentarem grande tempo de residência no solo, têm importante papel na formação e estabilização dos agregados, participando nos complexos organominerais.

Ao avaliar a distribuição de carbono orgânico entre as substâncias húmicas, verificam-se, no caso do Cerradão, valores próximos para as frações AF e AH. Contudo, no solo sob cultivo com milho a proporção de carbono orgânico na fração AH superou a de AF (Quadro 5), indicando maiores perdas de AF nessa cobertura. Por sua vez, GOMES (1992) constatou predominância dos ácidos fúlvicos em relação aos ácidos húmicos, para as diferentes coberturas vegetais.

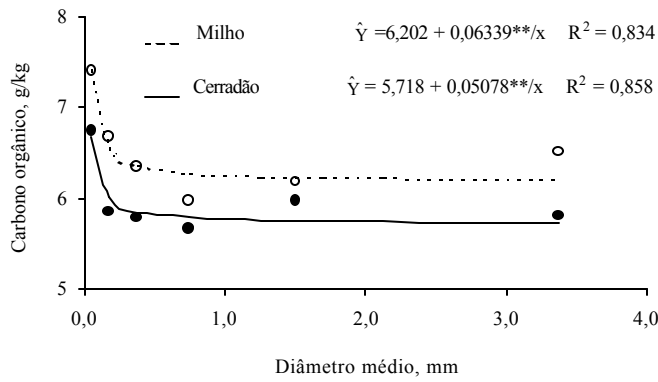
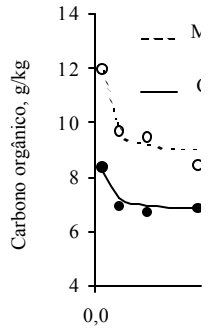
A recuperação do COT nas frações húmicas foi avaliada pela relação $(AF+AH+HUM)/COT$. Pelos valores desta relação, verifica-se que 80 a 96% do COT foi recuperado nas frações húmicas. Os menores valores foram observados na menor classe de agregados ($<0,105$ mm), indicando maior proteção do carbono orgânico à oxidação nessa classe, a qual se deve principalmente à fração HUM, dada a sua interação com a matriz mineral do solo. BENITES (1998), ao estudar a relação entre as frações húmicas e suas concentrações relativas ao COT, verificou recuperação de 84 a 116% do COT, para diferentes solos.

Para as frações AF e AH, semelhantemente ao COT, observou-se tendência de aumento no teor carbono orgânico dessas substâncias húmicas com a diminuição do tamanho dos agregados, destacando-se o de menor diâmetro (Figura 3). MENDONÇA (1988) também encontrou valores superiores de carbono orgânico de ácidos húmicos nos agregados de menor tamanho (0,2-0,05 mm). Para a fração HUM não houve ajuste de modelos de regressão com coeficientes estatisticamente significativos.

Ácidos Fúlvicos



Profundidade de 5-10 cm



Profundidade de 15-20 cm

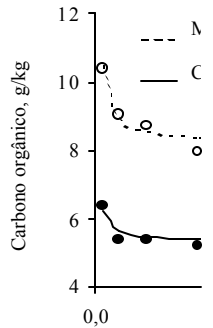


Figura 3 - Carbono orgânico das frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, em relação ao diâmetro médio das partículas, no Latossolo Vermelho, considerando a profundidade de amostragem e a cobertura do solo, respectivamente, pelo teste F.

4.3. Evolução de CO₂

A atividade dos microrganismos, que atuam na mineralização da matéria orgânica do solo, pode ser medida pelo CO₂ liberado. Os valores referentes à produção acumulada de CO₂, em 37 dias, são apresentados no Quadro 6. Foram observados maiores valores no Cerradão, comparativamente ao solo sob cultivo com milho. Esse comportamento pode estar relacionado à presença de maiores quantidades de substâncias orgânicas mais lábeis, como os carboidratos, possibilitando incremento na atividade microbiana nos agregados do solo sob Cerradão, visto que o solo sob milho apresenta maior disponibilidade de fósforo e potássio (Quadro 1).

Quadro 6 - Produção acumulada de CO₂, até 37 dias de incubação, em material de classes de agregados coletados nas profundidades de 5-10 (P₁) e 15-20 cm (P₂) de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos

Classe	DM ⁽¹⁾ mm	Produção acumulada de CO ₂			
		P ₁ g/kg de agregados	P ₂ g/kg de agregados	P ₁ g/kg de carbono orgânico total	P ₂ g/kg de carbono orgânico total
Cerradão					
4,75-2,0	3,375	1,24	1,27	43,20	52,10
2,0-1,0	1,5	1,46	1,37	50,24	57,31
1,0-0,5	0,75	1,27	1,18	49,00	51,38
0,5-0,25	0,375	1,40	0,96	53,75	42,04
0,25-0,105	0,1775	1,02	1,22	37,29	51,44
<0,105	0,0525	1,89	1,04	53,19	36,52
$\bar{Y}^{(2)}$		1,38A	1,17A	47,78A	48,46A
Milho					
4,75-2,0	3,375	1,01	0,83	32,55	30,17
2,0-1,0	1,5	1,15	1,04	39,79	35,76
1,0-0,5	0,75	0,86	0,74	33,50	29,82
0,5-0,25	0,375	0,86	0,88	29,80	30,67
0,25-0,105	0,1775	0,97	0,73	31,04	24,80
<0,105	0,0525	1,26	1,20	31,93	35,53
$\bar{Y}^{(2)}$		1,02B	0,90B	33,10B	31,12B

⁽¹⁾ Diâmetro médio da classe de agregados.

⁽²⁾ Letras diferentes, na mesma coluna, indicam diferença para cobertura do solo a 5% pelo teste F.

Os valores da produção acumulada de CO₂ expressos em relação à massa de agregados foram superiores na profundidade de 5-10 cm (Quadro 6), o que

está associado à maior disponibilidade de substrato e de nutrientes (Quadro 1) para os microrganismos nesta profundidade.

Entretanto, para a produção acumulada de CO₂ expressa em relação à massa de COT, observaram-se, principalmente nas classes de agregados de maior tamanho, maiores valores na profundidade de 15-20 cm do solo sob Cerradão (Quadro 6), o que é atribuído a uma maior proporção de constituintes lábeis em relação às formas mais estáveis de carbono orgânico nesta profundidade, comparativamente à camada mais superficial. Contrariamente, para a cultura do milho, os menores valores da produção acumulada de CO₂ encontrados na profundidade de 15-20 cm (Quadro 6) indicam que ocorreu diminuição mais acentuada dos componentes de maior labilidade para esta profundidade e cobertura vegetal, comparativamente aos compostos orgânicos mais estáveis. Independentemente do modo de expressão do CO₂ produzido, PARRA (1986) verificou diminuição dos valores em profundidade, atribuindo a redução na liberação de CO₂ por grama de carbono à maior estabilidade da matéria orgânica nas camadas mais profundas.

De maneira geral, as classes de agregados <0,105 e 2,0-1,0 mm de diâmetro foram responsáveis pelos maiores valores de produção acumulada de CO₂ (Quadro 6). Esperava-se liberação maior de CO₂ nas classes de agregados de maior tamanho, semelhantemente ao observado por ELLIOT (1986) e BEARE et al. (1994a), pois nestas classes geralmente são mais frequentes os materiais orgânicos adicionados recentemente, os quais são mais facilmente mineralizáveis.

A maior disponibilidade de nutrientes (Quadro 1) e de água, avaliada pelo equivalente de umidade (Quadro 2), no material de classe de agregados com diâmetro <0,105 mm, é fator importante que favorece a maior atividade microbiana e, conseqüentemente, maior produção de CO₂. O maior tamanho da população microbiana nos agregados menores, no início da incubação, em relação aos agregados maiores, também pode ter contribuído para esse comportamento. SEECH e BEAUCHAMP (1988) verificaram maiores valores de biomassa microbiana e produção de CO₂ nos agregados de menor tamanho.

Os valores de produção de CO₂ foram ajustados a equações logísticas [Y = a/1+e^{-(b+cx)}]. Os coeficientes da equação logística (a, b, c) apresentam o seguinte significado biológico: o “a” é a saturação da curva, que está associado à máxima evolução de CO₂ e indica a quantidade de carbono mais facilmente mineralizável; o “b” é o parâmetro de posição, desloca a curva horizontalmente, e, quanto maior seu valor, maior é o tempo para atingir a saturação; e “c” é o parâmetro relacionado com a taxa de crescimento da função e que é diretamente associado à labilidade do carbono na matéria orgânica. Por intermédio desses coeficientes foi possível estimar o tempo necessário para atingir a metade da produção máxima de CO₂ (t_{1/2}). O t_{1/2} indica o tempo em que ocorreu inflexão da curva (Figura 4). Seu valor permite que se faça uma inferência sobre a velocidade de mineralização da matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, sobre sua labilidade.

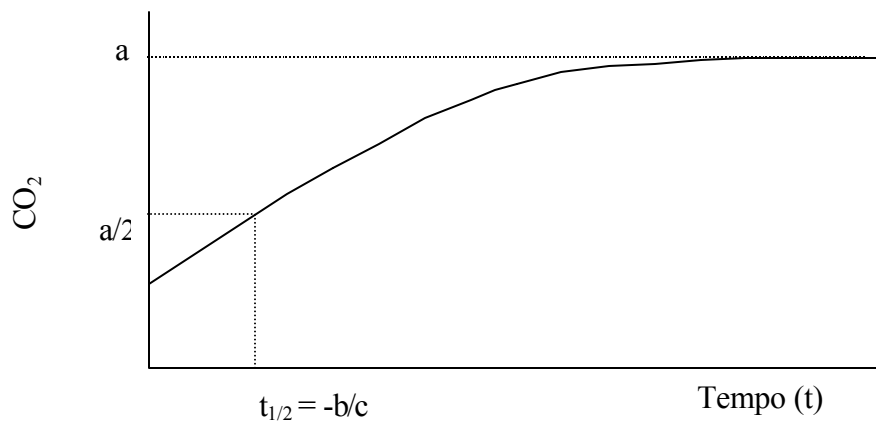


Figura 4 –Representação gráfica da curva de evolução de CO₂, utilizando a equação logística [Y = a/1+e^{-(b+cx)}].

Nos Quadros 7 e 8 são apresentados os valores dos coeficientes das equações logísticas (a, b, c), os coeficientes de determinação (R²) e os t_{1/2}

relativos à produção de CO₂. Por esses quadros verificam-se maiores valores do coeficiente c na menor classe de agregados do solo sob Cerradão, indicando maior labilidade do carbono orgânico presente nesta classe de agregados e, portanto, mineralização mais intensa da matéria orgânica sob essas condições.

A superioridade dos valores de $t_{1/2}$ encontrados para o solo sob cultivo com milho (Quadros 7 e 8) denota uma mineralização mais lenta da matéria orgânica. Nessas condições, há favorecimento da formação de moléculas orgânicas mais polimerizadas, como aquelas presentes nas frações ácidos húmicos e huminas. Da mesma forma, os maiores valores de $t_{1/2}$ observados na profundidade de 5-10 cm (Quadros 7 e 8) também estão relacionados à presença em maior quantidade dessas substâncias húmicas nessa profundidade (Quadro 5). Por outro lado, os menores valores de $t_{1/2}$ estão associados a maiores teores de formas lábeis de carbono orgânico.

A Figura 5 mostra redução dos valores de $t_{1/2}$ com a diminuição do tamanho dos agregados, com destaque para o de menor diâmetro. A presença em maior quantidade de carbono orgânico lábil em agregados menores favoreceu esse comportamento.

Quadro 7 - Coeficientes da equação logística e tempo necessário para atingir a metade da produção máxima de CO₂ por unidade de massa de agregados ($t_{1/2} = -b/c$) em material de classes de agregados coletados nas profundidades de 5-10 (P₁) e 15-20 cm (P₂) de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos

Classe	DM ⁽¹⁾ mm	a ⁽²⁾ g/kg		b ⁽²⁾		c ⁽²⁾ d ⁻¹	
		P ₁	P ₂	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Cerradão							
4,75-2,0	3,375	1,1953	1,1955	1,2626	1,4748	0,1381	0,1750
2,0-1,0	1,5	1,3923	1,2914	1,4767	1,4319	0,1577	0,1651
1,0-0,5	0,75	1,2120	1,0935	1,3370	1,4084	0,1524	0,1880
0,5-0,25	0,375	1,3083	0,9043	1,3315	1,2918	0,1725	0,1721
0,25-0,105	0,1775	0,9600	1,1209	1,3476	1,2974	0,1533	0,1777
< 0,105	0,0525	1,7604	0,9625	1,2342	1,1074	0,1762	0,1906
Milho							
4,75-2,0	3,375	0,9755	0,7797	1,4636	1,1737	0,1385	0,1389
2,0-1,0	1,5	1,0969	0,9765	1,3508	1,3292	0,1410	0,1477
1,0-0,5	0,75	0,8356	0,7047	1,3747	1,0690	0,1478	0,1631
0,5-0,25	0,375	0,8211	0,8288	1,2286	1,2188	0,1501	0,1557
0,25-0,105	0,1775	0,9158	0,6703	1,1989	1,1182	0,1516	0,1809
< 0,105	0,0525	1,1935	1,1167	1,1447	1,2537	0,1495	0,1600

** : significativo a 1% pelo teste F.

⁽¹⁾ Diâmetro médio da classe de agregados.

⁽²⁾ Equação logística: $Y = a/1+e^{-(b+cx)}$.

Quadro 8 - Coeficientes da equação logística e tempo necessário para atingir a metade da produção máxima de CO₂ por unidade de massa de carbono orgânico total ($t_{1/2} = -b/c$) em material de classes de agregados coletados nas profundidades de 5-10 (P₁) e 15-20 cm (P₂) de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos

Classe	DM ⁽¹⁾ mm	a ⁽²⁾ g/kg		b ⁽²⁾		c ⁽²⁾ d ⁻¹	
		P ₁	P ₂	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Cerradão							
4,75-2,0	3,375	41,605	49,239	1,2601	1,4738	0,1390	0,1773
2,0-1,0	1,5	47,892	54,124	1,4777	1,4341	0,1578	0,1674
1,0-0,5	0,75	46,740	47,732	1,3362	1,4152	0,1517	0,1880
0,5-0,25	0,375	50,044	39,382	1,3236	1,2856	0,1719	0,1719
0,25-0,105	0,1775	35,095	47,170	1,3362	1,3029	0,1525	0,1787
< 0,105	0,0525	49,313	33,695	1,2478	1,1045	0,1798	0,1901
Milho							
4,75-2,0	3,375	31,528	28,498	1,4653	1,1660	0,1378	0,1389
2,0-1,0	1,5	38,019	33,741	1,3687	1,3271	0,1414	0,1464
1,0-0,5	0,75	32,576	28,336	1,3855	1,0622	0,1484	0,1631
0,5-0,25	0,375	28,478	28,885	1,2270	1,2083	0,1501	0,1543
0,25-0,105	0,1775	29,292	22,754	1,1982	1,1092	0,1516	0,1803
< 0,105	0,0525	30,302	33,111	1,1433	1,2542	0,1509	0,1601

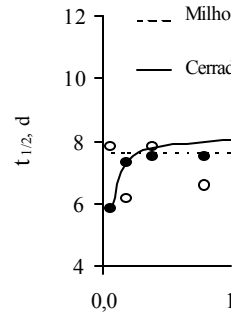
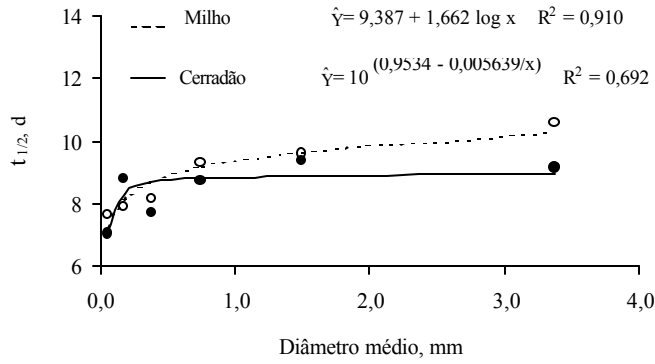
** : significativo a 1% pelo teste F.

⁽¹⁾ Diâmetro médio da classe de agregados.

⁽²⁾ Equação logística: $Y = a/1 + e^{-(b+cx)}$.

Profundidade de 5-10 cm

$t_{1/2}$ de CO₂/kg de agregados



$t_{1/2}$ de CO₂/kg de carbono orgânico total

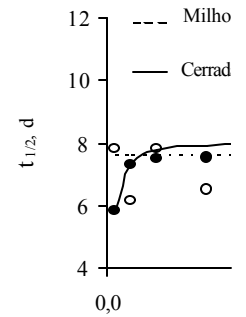
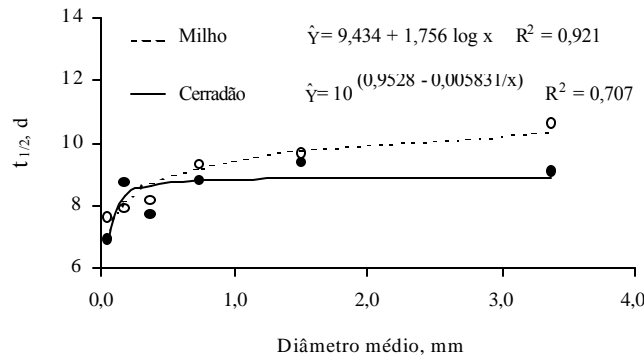


Figura 5 - Tempo necessário para atingir a metade da produção máxima de CO₂ ($t_{1/2}$) em relação Latossolo Vermelho, considerando a profundidade de amostragem e a cobertura do solo.

4.4. Carbono orgânico solúvel em água

O carbono orgânico solúvel em água (COS) constitui-se na forma mais lábil e ativa da matéria orgânica. Os teores de COS no solo dependem principalmente da atividade microbiana e do aporte orgânico.

Os maiores teores de COS observados nos agregados do solo sob Cerradão (Quadro 9) se devem à adição de resíduos orgânicos da vegetação natural. PERES et al. (1983) encontraram valores médios anuais de produção de resíduos vegetais de 7.800 kg/ha para esse sistema. A maior atividade de microrganismos no Cerradão, avaliada pelo CO₂ liberado (Quadro 6), também contribuiu para esse comportamento.

Quadro 9 – Teores de carbono orgânico solúvel em água, antes e após o experimento de evolução de CO₂, em material de classes de agregados coletados nas profundidades de 5-10 (P₁) e 15-20 cm (P₂) de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos

Classe	DM ⁽¹⁾	P ₁		P ₂		P ₁ /P ₂		Antes/Após	
		Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após	P ₁	P ₂
mm		mg/kg							
Cerradão									
4,75-2,0	3,375	120	76	108	69	1,11	1,10	1,58	1,57
2,0-1,0	1,5	121	96	126	73	0,96	1,32	1,26	1,73
1,0-0,5	0,75	117	88	109	65	1,07	1,35	1,33	1,68
0,5-0,25	0,375	112	88	113	65	0,99	1,35	1,27	1,74
0,25-0,105	0,1775	115	86	106	62	1,08	1,39	1,34	1,71
<0,105	0,0525	122	90	106	65	1,15	1,38	1,36	1,63
$\bar{Y}^{(2)}$		118A	87A	111A	67A	1,06A	1,32A	1,36A	1,68A
Milho									
4,75-2,0	3,375	74	59	83	64	0,89	0,92	1,25	1,30
2,0-1,0	1,5	81	75	96	74	0,84	1,01	1,08	1,30
1,0-0,5	0,75	78	70	87	62	0,90	1,13	1,11	1,40
0,5-0,25	0,375	85	73	94	72	0,90	1,01	1,16	1,31
0,25-0,105	0,1775	77	72	89	65	0,87	1,11	1,07	1,37
<0,105	0,0525	88	71	93	62	0,95	1,15	1,24	1,50
$\bar{Y}^{(2)}$		81B	70B	90B	67A	0,89B	1,06B	1,15B	1,36B

⁽¹⁾ Diâmetro médio da classe de agregados.

⁽²⁾ Letras diferentes, na mesma coluna, indicam diferença para cobertura do solo a 5% pelo teste F.

No solo cultivado, apesar de a adição anual de resíduos orgânicos pela cultura do milho ser elevada, a menor atividade microbiana, que pode estar associada à menor proporção de constituintes mais lábeis nesse sistema, faz com que os valores de COS sejam menores. De acordo com ZECH et al. (1997), os constituintes lábeis diminuem rapidamente após a substituição da vegetação natural pelo cultivo, e novos níveis de equilíbrio são atingidos.

O COS demonstrou ser sensível às alterações causadas pela atividade microbiana, haja vista a redução dos valores dessa forma de carbono orgânico nas determinações feitas após o experimento de evolução de CO₂ (Quadro 9), denotando, assim, sua utilização pelos microrganismos do solo como fonte de energia.

Da mesma forma que para a fração AF, foram observados, na profundidade de 15-20 cm, teores superiores de COS nos agregados do solo sob cultivo com milho (Quadro 9), o que é atribuído à sua mobilidade no solo. Isto faz sentido, considerando que o COS, o qual é constituído de compostos orgânicos de baixo peso molecular, faz parte da fração AF. Os valores inferiores à unidade observados entre as profundidades ($P_1/P_2 = 0,89$), para essa cobertura (Quadro 9), reforçam essas observações.

Uma outra explicação para os elevados valores de COS em profundidade nos agregados do solo cultivado seria a redução da mineralização da matéria orgânica em função da menor disponibilidade de oxigênio na profundidade de 15-20 cm. A presença de uma camada mais compactada a partir de 10 cm sob essa cobertura, dificultando as trocas gasosas, exerceria efeito negativo nesse sentido. O fato de que após o experimento de evolução de CO₂, onde o suprimento de oxigênio para as amostras dos agregados foi satisfatório, tenha ocorrido uma inversão dos valores da relação entre as duas profundidades (P_1/P_2), passando de 0,89 para 1,06 para essa cobertura (Quadro 9), é um indicativo de que o suprimento de oxigênio exerce influência sobre a mineralização da matéria orgânica e, conseqüentemente, sobre os teores de COS.

Os valores superiores da relação dos teores de COS, obtidos antes e após o experimento de evolução de CO₂, no Cerradão (Quadro 9), indicam redução mais acentuada dos teores de COS após o experimento de evolução de CO₂. Isso é decorrente da maior utilização de compostos orgânicos lábeis pelos microrganismos, caracterizada pela maior produção de CO₂ nessa cobertura (Quadro 6).

De maneira geral, não foram observadas diferenças significativas dos teores de COS entre as diferentes classes de agregados (Quadro 9). A exceção foi a classe 2,0-1,0 mm, que apresentou valores superiores de COS, antes do experimento de evolução de CO₂, para a profundidade de 15-20 cm, no Cerradão. Esse comportamento impossibilitou o ajuste de modelos de regressão aos dados experimentais.

4.5. Carbono orgânico lábil

Os teores de carbono orgânico lábil (COL), determinados utilizando-se duas concentrações de KMnO₄, são apresentados no Quadro 10. Para a concentração de 33,0 mmol/L de KMnO₄ foram observados valores superiores de COL nos agregados do solo sob cultivo com milho, em relação aos do solo sob Cerradão (Quadro 10). Esse comportamento difere do registrado para a produção acumulada de CO₂ (Quadro 6) e se assemelha ao do COT (Quadro 4). Provavelmente essa concentração de KMnO₄ esteja oxidando frações mais estáveis de carbono orgânico, como os ácidos húmicos, que estão presentes em maior proporção no solo cultivado. Por sua vez, SHANG e TIESSEN (1997), trabalhando com Oxissolo da região de Pernambuco e utilizando a mesma concentração de KMnO₄, não encontraram diferenças entre os valores de COL obtidos no solo cultivado e os obtidos sob vegetação natural. Estes autores só conseguiram detectar as mudanças na labilidade da matéria orgânica em função do cultivo, por meio da distribuição de carbono associada às frações areia, silte e argila.

Quadro 10 – Teores de carbono orgânico lábil determinados por KMnO_4 33,0 e 15,6 mmol/L, antes e após o experimento de evolução de CO_2 , em material de classes de agregados coletados nas profundidades de 5-10 (P_1) e 15-20 cm (P_2) de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos

Classe	DM ⁽¹⁾	P_1		P_2		P_1/P_2		Antes/Após	
		Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após	P_1	P_2
mm		g/kg							
Carbono Orgânico Lábil determinado por KMnO_4 33,0 mmol/L									
Cerradão									
4,75-2,0	3,375	2,76	3,06	1,96	2,16	1,46	1,43	0,91	0,94
2,0-1,0	1,5	2,62	2,95	2,01	2,04	1,35	1,47	0,90	1,01
1,0-0,5	0,75	2,48	2,82	1,99	2,07	1,31	1,38	0,89	0,99
0,5-0,25	0,375	2,40	2,67	1,89	1,97	1,31	1,38	0,91	0,98
0,25-0,105	0,1775	2,52	2,80	1,91	2,01	1,35	1,42	0,90	0,98
<0,105	0,0525	2,92	3,32	2,25	2,29	1,33	1,47	0,89	1,00
\bar{Y} ⁽²⁾		2,62B	2,94A	2,00B	2,09B	1,35A	1,43A	0,90B	0,98A
Milho									
4,75-2,0	3,375	2,65	2,87	2,23	2,32	1,24	1,24	0,93	0,96
2,0-1,0	1,5	2,67	2,82	2,30	2,24	1,21	1,27	0,96	1,03
1,0-0,5	0,75	2,60	2,82	2,30	2,42	1,17	1,17	0,93	0,95
0,5-0,25	0,375	2,80	3,04	2,43	2,58	1,19	1,19	0,93	0,96
0,25-0,105	0,1775	3,02	3,17	2,54	2,54	1,22	1,26	0,96	1,00
<0,105	0,0525	3,38	3,67	2,70	2,91	1,34	1,28	0,93	0,93
\bar{Y} ⁽²⁾		2,85A	3,07A	2,42A	2,50A	1,23B	1,24B	0,94A	0,97A
Carbono Orgânico Lábil determinado por KMnO_4 15,6 mmol/L									
Cerradão									
4,75-2,0	3,375	1,78	1,86	1,28	1,35	1,42	1,45	0,99	0,98
2,0-1,0	1,5	1,71	1,88	1,21	1,25	1,44	1,55	0,95	0,99
1,0-0,5	0,75	1,64	1,79	1,25	1,23	1,33	1,49	0,94	1,04
0,5-0,25	0,375	1,58	1,74	1,33	1,20	1,18	1,53	0,93	1,18
0,25-0,105	0,1775	1,59	1,72	1,25	1,28	1,28	1,42	0,95	1,02
<0,105	0,0525	1,95	2,04	1,47	1,40	1,34	1,54	0,96	1,11
\bar{Y} ⁽²⁾		1,71A	1,84A	1,30B	1,29B	1,33A	1,50A	0,95A	1,05A
Milho									
4,75-2,0	3,375	1,63	1,75	1,33	1,43	1,22	1,27	0,95	0,95
2,0-1,0	1,5	1,66	1,70	1,42	1,33	1,19	1,33	1,01	1,09
1,0-0,5	0,75	1,51	1,75	1,45	1,52	1,05	1,18	0,88	0,98
0,5-0,25	0,375	1,66	1,87	1,57	1,53	1,06	1,27	0,90	1,06
0,25-0,105	0,1775	1,68	1,84	1,44	1,50	1,19	1,27	0,94	0,98
<0,105	0,0525	2,06	2,13	1,73	1,65	1,20	1,33	0,99	1,06
\bar{Y} ⁽²⁾		1,70A	1,84A	1,49A	1,49A	1,15B	1,28B	0,95A	1,02A

⁽¹⁾ Diâmetro médio da classe de agregados.

⁽²⁾ Letras diferentes, na mesma coluna, para cada concentração de KMnO_4 , indicam diferença para cobertura do solo a 5% pelo teste F.

Contudo, ao se diminuir a concentração de KMnO_4 para 15,6 mmol/L, foi observado que, além de os teores de COL nos agregados terem sido reduzidos, os valores médios de COL não diferiram entre o solo sob cultivo com milho e aquele sob Cerradão na profundidade de 5-10 cm (Quadro 10).

A utilização de oxidantes mais diluídos, como KMnO_4 33,0 (SHANG e TIESSSEN, 1997) e 15,6 mmol/L, em vez de soluções mais concentradas de KMnO_4 (333,0 mmol/L), como proposto por BLAIR et al. (1995), em razão de a matéria orgânica ser relativamente mais lábil nos solos de regiões tropicais, permitiu que se obtivessem valores de COL mais próximos daqueles obtidos da produção acumulada de CO_2 . Considerando a evolução de CO_2 como um método-referência para estimar a mineralização dos compostos orgânicos do solo, a diminuição da concentração do oxidante faz-se necessária na determinação de formas lábeis de carbono orgânico nesses solos.

Pelo Quadro 10, verifica-se que os valores de COL dos agregados se mostraram superiores após o experimento de evolução de CO_2 , principalmente para a concentração de 33,0 mmol/L de KMnO_4 na profundidade de 5-10 cm, o que está de acordo com os valores inferiores à unidade das relações entre os teores de COL determinados antes e após a evolução de CO_2 . Isso pode ser atribuído ao aumento da população microbiana ao final do experimento de evolução de CO_2 . Considerando que os microrganismos são constituintes lábeis da matéria orgânica, a oxidação destes por solução de KMnO_4 33,0 mmol/L acarreta incremento dos valores de COL.

Outra possível explicação para os maiores teores de COL nos agregados após o experimento de evolução de CO_2 é de que, no processo de mineralização, caso as transformações de formas mais estáveis de carbono orgânico para formas lábeis, como o COL, durante o período de incubação do experimento de evolução de CO_2 , ocorram mais rapidamente do que a passagem de COL para formas ainda mais lábeis, como o COS, isso poderia ocasionar acúmulo de COL.

Foram observados teores mais elevados de COL na camada mais superficial do solo (5-10 cm) (Quadro 10). Esse fato é reforçado pelos valores superiores à unidade obtidos da relação entre as profundidades (P_1/P_2). Em razão da menor diferença dos teores de COL em profundidade, o solo sob cultivo com milho apresentou valores inferiores da relação P_1/P_2 . Da mesma forma que para o COT, a incorporação de restos culturais, em decorrência do revolvimento do solo, na época de seu preparo, favoreceu o incremento de matéria orgânica em profundidade. A presença da camada mais compactada a partir de 10 cm no solo cultivado, além de ter favorecido para que as perdas de COL fossem menos acentuadas, restringiu ainda mais o suprimento de oxigênio aos microrganismos na profundidade de 15-20 cm, o que pode ter contribuído para os teores elevados de COL.

Ao analisar os valores obtidos das relações entre as duas concentrações de KMnO_4 (33,0 e 15,6 mmol/L), verifica-se que os valores encontrados nos agregados do solo sob cultivo com milho foram superiores aos do Cerradão (Quadro 11). Em média, oxidaram-se 55,0 e 70,0% mais COL nos agregados do solo sob Cerradão e sob cultivo com milho, respectivamente, quando se utilizou KMnO_4 33,0 mmol/L, comparativamente à menor concentração de KMnO_4 (15,6 mmol/L), na determinação feita antes do experimento de evolução de CO_2 . Essa diferença de 15%, superior para o solo cultivado, possivelmente se deve à oxidação do carbono orgânico das substâncias húmicas, mais freqüentes nessa cobertura.

Quadro 11 - Relações entre o carbono orgânico lábil determinado por KMnO_4 33,0 mmol/L e aquele determinado por KMnO_4 15,6 mmol/L ($\text{COL}_{33,0}/\text{COL}_{15,6}$), antes e após o experimento de evolução de CO_2 , em material de classes de agregados coletados nas profundidades de 5-10 (P_1) e 15-20 cm (P_2) de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos

Classe	DM ⁽¹⁾	COL _{33,0} /COL _{15,6} (Antes)		COL _{33,0} /COL _{15,6} (Após)	
		P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
mm					
Cerradão					
4,75-2,0	3,375	1,55	1,55	1,69	1,66
2,0-1,0	1,5	1,53	1,70	1,62	1,69
1,0-0,5	0,75	1,53	1,62	1,61	1,73
0,5-0,25	0,375	1,55	1,42	1,57	1,76
0,25-0,105	0,1775	1,58	1,53	1,66	1,63
<0,105	0,0525	1,52	1,54	1,64	1,72
\bar{Y} (2)		1,54B	1,56A	1,63B	1,70A
Milho					
4,75-2,0	3,375	1,70	1,69	1,68	1,66
2,0-1,0	1,5	1,63	1,63	1,71	1,73
1,0-0,5	0,75	1,75	1,59	1,64	1,63
0,5-0,25	0,375	1,74	1,57	1,65	1,72
0,25-0,105	0,1775	1,87	1,83	1,78	1,73
<0,105	0,0525	1,72	1,57	1,76	1,81
\bar{Y} (2)		1,74A	1,65A	1,70A	1,71A

⁽¹⁾ Diâmetro médio da classe de agregados.

⁽²⁾ Letras diferentes, na mesma coluna, indicam diferença para cobertura do solo a 5% pelo teste F.

De maneira geral, observou-se incremento dos teores de COL com a diminuição do tamanho dos agregados, com destaque para o de menor diâmetro (Figuras 6 e 7). Para o solo sob cultivo com milho, onde foram obtidos os melhores ajustes de modelos de regressão, esse fato ficou bem evidenciado. Esse comportamento pode estar relacionado ao tamanho da população microbiana nos agregados. SEECH e BEAUCHAMP (1988) constataram incremento dos teores de carbono da biomassa microbiana com a diminuição do tamanho dos agregados. Por se constituir numa fração lábil, o carbono da biomassa microbiana contribui para os valores de COL.

Outra provável explicação para os maiores valores de COL nos agregados de menor tamanho refere-se à sua associação com frações granulométricas mais finas do solo. SHANG e TIESSEN (1997) verificaram

elevados valores de COL associados às frações silte e argila (46% para cada fração) em solo sob vegetação natural. Por sua vez, TIESSEN e STEWART (1983) observaram a presença de materiais lábeis de origem microbiana na argila fina. Considerando a maior contribuição das frações finas (silte e argila) nas menores classes de agregados, esse comportamento é justificado.

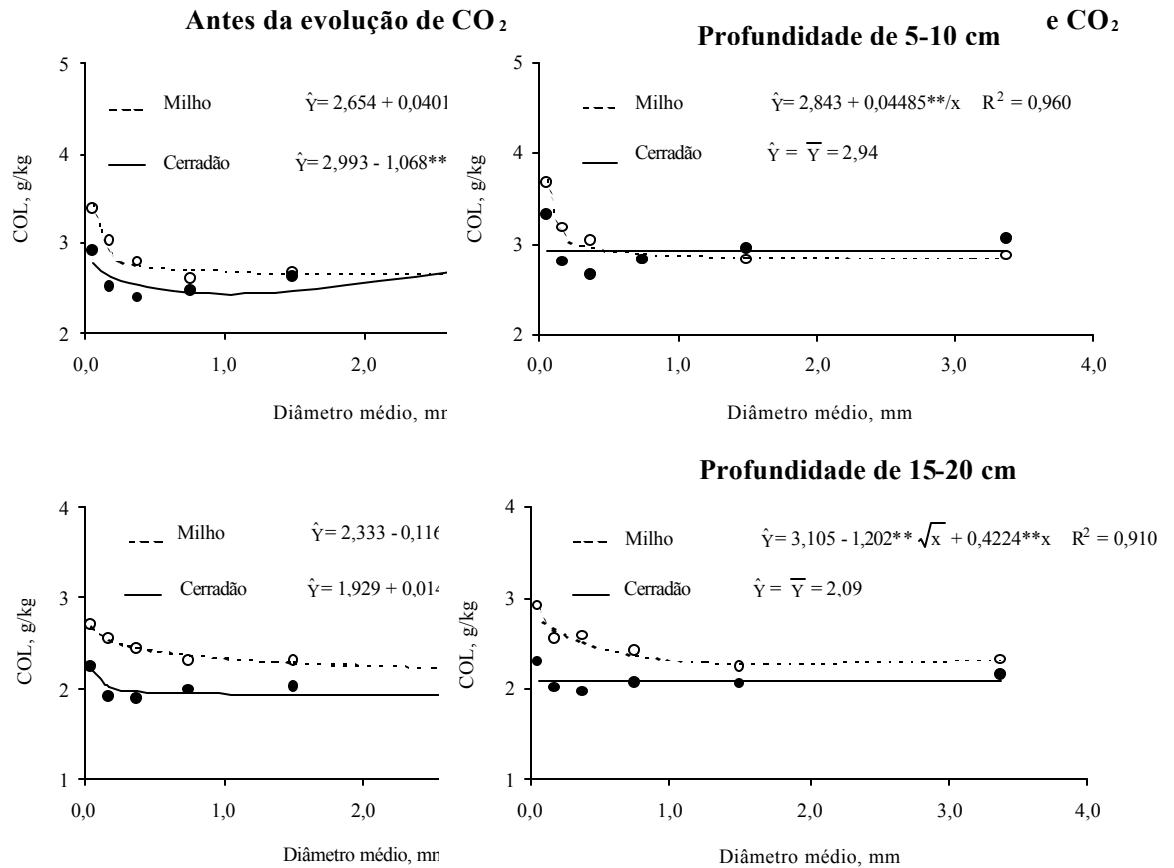


Figura 6 - Carbono orgânico lábil (COL) determinado por KMnO_4 33,0 mmol/L, antes e após o experimento de evolução de CO_2 em relação ao diâmetro médio dos agregados do Latossolo Vermelho, considerando a profundidade de cobertura do solo. **: significativo a 1% pelo teste F.

4.6. Nitrogênio total e nitrogênio mineralizado anaerobicamente

Os maiores teores de nitrogênio total (NT) foram observados nos agregados da camada mais superficial (5-10 cm) do solo sob Cerradão (Quadro 12). Como 95% ou mais do N no solo encontra-se na forma orgânica (CAMARGO et al., 1999), os valores elevados de matéria orgânica para essa profundidade e cobertura, evidenciados pelos teores de COT (Quadro 4), justificam esse comportamento.

Quadro 12 - Teores de nitrogênio total (NT) e nitrogênio mineralizado anaerobicamente (NMA) em material de classes de agregados coletados nas profundidades de 5-10 (P₁) e 15-20 cm (P₂) de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos

Classe	DM ⁽¹⁾ mm	NT g/kg			NMA mg/kg		
		P ₁	P ₂	P ₁ /P ₂	P ₁	P ₂	P ₁ /P ₂
Cerradão							
4,75-2,0	3,375	2,15	1,68	1,28	37	13	2,85
2,0-1,0	1,5	2,06	1,68	1,23	38	10	3,80
1,0-0,5	0,75	2,06	1,63	1,27	33	12	2,75
0,5-0,25	0,375	2,05	1,72	1,19	36	14	2,57
0,25-0,105	0,1775	2,10	1,79	1,18	36	12	3,00
<0,105	0,0525	2,73	2,05	1,34	64	33	1,94
\bar{Y} ⁽²⁾		2,19A	1,76B	1,25A	41A	16A	2,82A
Milho							
4,75-2,0	3,375	1,95	1,70	1,15	13	7	1,86
2,0-1,0	1,5	1,88	1,70	1,11	18	8	2,25
1,0-0,5	0,75	1,72	1,68	1,02	17	9	1,89
0,5-0,25	0,375	1,94	1,79	1,08	18	9	2,00
0,25-0,105	0,1775	1,97	1,95	1,01	22	12	1,83
<0,105	0,0525	2,64	2,35	1,12	35	23	1,52
\bar{Y} ⁽²⁾		2,02B	1,86A	1,08B	21B	11B	1,89B

⁽¹⁾ Diâmetro médio da classe de agregados.

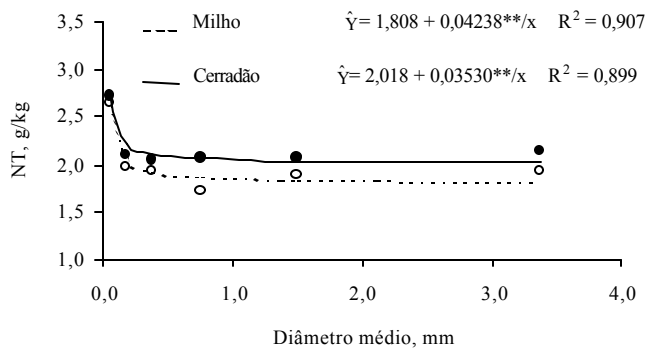
⁽²⁾ Letras diferentes, na mesma coluna, indicam diferença para cobertura do solo a 5% pelo teste F.

Devido à incorporação de resíduos vegetais, os valores de NT nos agregados do solo sob cultivo de milho superaram os do Cerradão na profundidade de 15-20 cm (Quadro 12). Aliado a esse fato, a maior restrição à aeração nessa profundidade, acentuada pela camada mais compactada presente a partir de 10 cm no solo cultivado, tendeu a favorecer o acúmulo de NT. Nessas condições, a decomposição da matéria orgânica e, conseqüentemente, a mineralização do N pelos microrganismos são comprometidas. Assim, o N tende a permanecer mais na forma orgânica, estando menos sujeito a perdas.

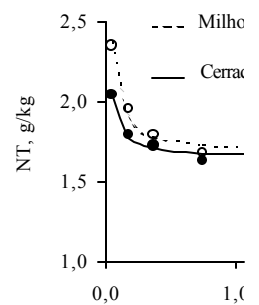
As relações mais estreitas entre as profundidades (P_1/P_2) encontradas no solo sob cultivo com milho (Quadro 12) evidenciam o efeito do revolvimento do solo, incorporando os resíduos culturais e possibilitando menores diferenças dos valores de NT em profundidade. Da mesma forma, BAYER e BERTOL (1999) observaram distribuição uniforme dos teores de N em profundidade quando o solo foi preparado convencionalmente.

De forma semelhante ao ocorrido com o COT, houve tendência de aumento dos teores de NT com a diminuição do tamanho dos agregados (Figura 8), indicando a associação da fração argila, presente em maior proporção nas menores classes, com o N do solo. SILVA et al. (1999), em estudo feito em Latossolos submetidos a diferentes manejos, também observaram maiores reservatórios de N associados à fração fina ($<2,0 \mu\text{m}$), essencialmente constituída de argila.

Profundidade de 5-10 cm



Nitrogênio Total



Nitrogênio Mineralizado Anaerobicamente

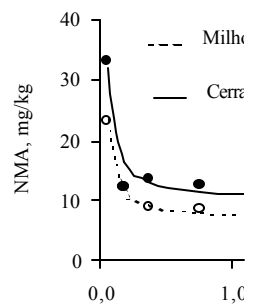
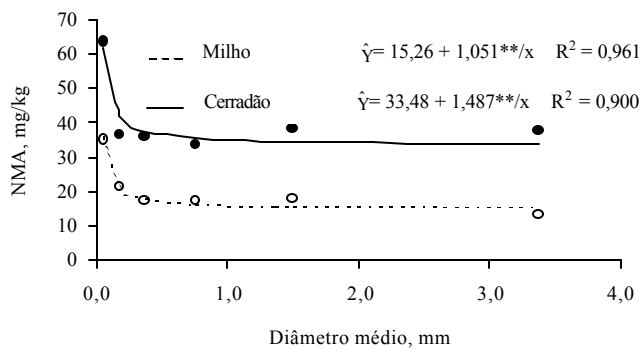


Figura 8 - Nitrogênio total (NT) e nitrogênio mineralizado anaerobicamente (NMA), em relação Latossolo Vermelho, considerando a profundidade de amostragem e a cobertura d teste F.

Os valores de nitrogênio mineralizado anaerobicamente (NMA), obtidos pela determinação de NH_4^+ nas amostras de agregados de solo submersas em água e submetidas à incubação a 40°C , são mostrados no Quadro 12. Esses valores permitem que sejam feitas inferências sobre a disponibilidade de N no solo.

A quantidade de N mineralizado em um determinado período depende de fatores como temperatura, umidade, aeração, quantidade e natureza do material orgânico presente. Como, geralmente, os três primeiros fatores são uniformizados experimentalmente, o comportamento dos solos está diretamente relacionado aos teores de matéria orgânica e de NT (CAMARGO et al., 1997).

Da mesma forma que para o NT, os maiores teores de NMA foram encontrados nos agregados da profundidade de 5-10 cm do solo sob Cerradão (Quadro 12). Considerando que os microrganismos são peças fundamentais na mineralização do N, a maior disponibilidade de substrato e a maior atividade microbiana, nessas condições, assim como ocorreu com a evolução de CO_2 (Quadro 6), favoreceram esse comportamento. Assim, a camada mais superficial do solo sob Cerradão apresenta-se como importante fonte de N, na forma

orgânica, o qual tende a ser mineralizado mais expressivamente pelos microrganismos. De forma semelhante, WANG et al. (1996), em solos sob eucalipto e pastagem, observaram maiores teores de NMA na camada superficial do solo (0-10 cm) em relação às profundidades subjacentes.

A predominância dos valores de NMA na profundidade de 5-10 cm, em relação à profundidade 15-20 cm, é evidenciada pelos elevados valores da relação P_1/P_2 (Quadro 12). No solo sob cultivo com milho, a incorporação de resíduos vegetais e a mineralização menos intensa em razão das condições mais restritas de aeração permitiram uma redução menos acentuada dos teores de NMA em profundidade.

De forma semelhante ao NT, houve tendência de incremento dos valores de NMA com a diminuição do tamanho dos agregados (Figura 8). Atribui-se esse comportamento às maiores reservas orgânicas presentes nos agregados menores, as quais estão associadas principalmente à fração argila. De forma semelhante, CHRISTENSEN e OLESEN (1998) verificaram aumento da taxa de mineralização de N com a diminuição do tamanho das partículas (argila > silte > areia). ANDERSON et al. (1981) consideram o N presente na fração argila, principalmente aquele associado à argila fina, facilmente mineralizável.

4.7. Relações entre carbono orgânico e nitrogênio

Os valores da relação C/N, obtidos pelo quociente dos teores de COT e de NT dos agregados triturados, são apresentados no Quadro 13. Os valores consistentemente superiores da relação C/N observados nos agregados do solo sob cultivo com milho (Quadro 13) seriam devidos, principalmente, aos maiores teores de COT presentes nessa cobertura (Quadro 4). Provavelmente, os resíduos da cultura do milho, que foram incorporados ao solo, apresentavam relação C/N mais elevada do que os restos de vegetação do Cerradão, contribuindo também para esse comportamento. As diferenças entre as profundidades, para cada cobertura, foram mínimas (Quadro 13).

Não foi possível o ajuste de modelos de regressão para a relação C/N. Na profundidade de 5-10 cm do solo sob Cerradão, a menor classe de agregados (<0,105 mm), constituída principalmente por argila (Quadro 2), apresentou relação C/N mais estreita, em relação às demais classes (Quadro 13). Por sua vez, ELLIOT (1986) observou, em solos cultivados, tendência de redução dos valores da relação C/N com a diminuição do tamanho dos agregados. Uma provável explicação para esse comportamento é a maior contribuição de moléculas orgânicas mais polimerizadas, como os ácidos húmicos, nessa classe de agregados. Essas substâncias apresentam N em sua composição estrutural, podendo acarretar a diminuição dos valores da relação C/N dos agregados.

Quadro 13 - Relações entre o carbono orgânico total e o nitrogênio total (relação C/N) e entre o carbono orgânico solúvel em água e o nitrogênio mineralizado anaerobicamente (relação COS/NMA) em material de classes de agregados coletados nas profundidades de 5-10 (P₁) e 15-20 cm (P₂) de um Latossolo Vermelho sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho por 30 anos

Classe	DM ⁽¹⁾	Relação C/N		Relação COS/NMA	
		P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
mm					
Cerradão					
4,75-2,0	3,375	13,25	14,47	3,24	8,85
2,0-1,0	1,5	14,21	14,19	3,21	13,03
1,0-0,5	0,75	12,68	14,03	3,82	8,93
0,5-0,25	0,375	12,78	13,36	3,32	8,77
0,25-0,105	0,1775	12,78	13,29	3,47	9,23
<0,105	0,0525	12,55	14,14	1,92	3,25
$\bar{Y}^{(2)}$		13,04B	13,91B	3,16B	8,68A
Milho					
4,75-2,0	3,375	16,19	16,13	5,72	13,50
2,0-1,0	1,5	15,65	17,24	4,67	12,51
1,0-0,5	0,75	14,87	14,86	4,58	10,45
0,5-0,25	0,375	14,87	16,19	5,06	10,75
0,25-0,105	0,1775	15,95	15,12	3,61	8,32
<0,105	0,0525	14,92	14,46	2,51	4,07
$\bar{Y}^{(2)}$		15,41A	15,67A	4,36A	9,93A

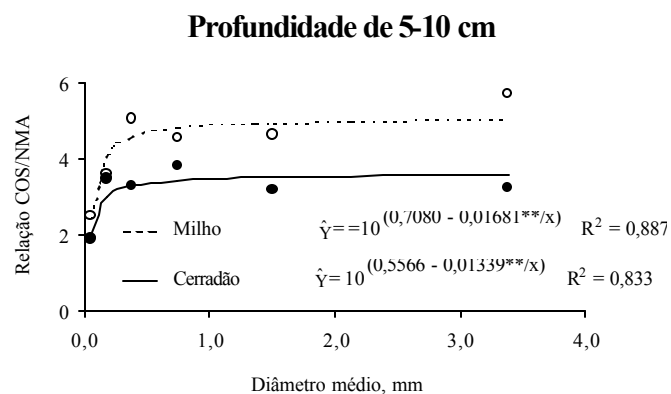
⁽¹⁾ Diâmetro médio da classe de agregados.

⁽²⁾ Letras diferentes, na mesma coluna, indicam diferença para cobertura do solo a 5% pelo teste F.

Visando obter informações sobre a mineralização dos componentes mais lábeis da matéria orgânica, preferencialmente utilizados pelos microrganismos no início do processo de decomposição da matéria orgânica, calculou-se a relação entre o carbono orgânico solúvel em água e o nitrogênio mineralizado anaerobicamente (relação COS/NMA) dos agregados triturados (Quadro 13). De forma semelhante à relação C/N, foram encontrados valores superiores da relação COS/NMA nos agregados do solo sob cultivo com milho (Quadro 13), o que provavelmente está relacionado aos resíduos dessa cultura, que apresenta natureza mais recalcitrante do que os resíduos da vegetação natural.

A profundidade de 15-20 cm apresentou valores consistentemente superiores da relação COS/NMA (Quadro 13), o que se deve principalmente à redução mais acentuada, em profundidade, dos teores de NMA, em relação aos teores de COS.

De forma distinta da relação C/N, foi possível o ajuste de modelos de regressão relacionando os valores da relação COS/NMA dos agregados com seu diâmetro médio. Os valores dessa relação tenderam à redução com a diminuição do tamanho dos agregados (Figura 9), indicando a presença de formas mais lábeis de carbono orgânico e de nitrogênio em agregados menores, associados principalmente à fração argila.



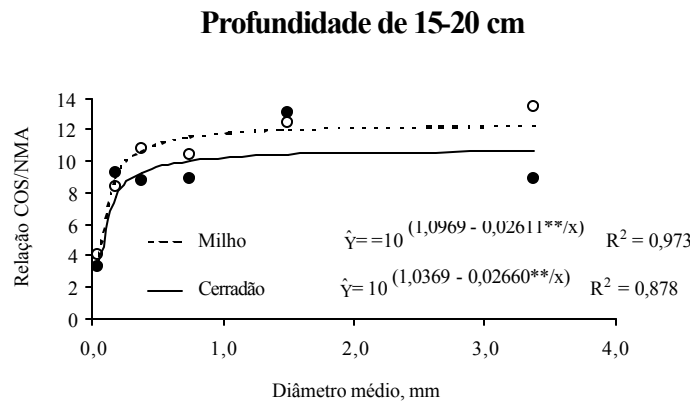


Figura 9 - Relação entre o carbono orgânico solúvel em água e o nitrogênio mineralizado anaerobicamente (relação COS/NMA) em função do diâmetro médio dos agregados do Latossolo Vermelho, considerando a profundidade de amostragem e a cobertura do solo. **: significativo a 1% pelo teste F.

4.8. Relação entre algumas características estudadas

Considerando que a evolução de CO_2 se constitui em um método-referência para avaliar a atividade dos microrganismos que atuam na mineralização da matéria orgânica do solo e que o tempo necessário para atingir a metade da produção máxima de CO_2 ($t_{1/2}$) permite inferir a velocidade de mineralização e, conseqüentemente, a labilidade da matéria orgânica, realizaram-se correlações entre essas características e outras relacionadas ao carbono orgânico e ao nitrogênio.

O carbono orgânico solúvel em água e o nitrogênio mineralizado anaerobicamente, que apresentam grande proporção de constituintes lábeis, correlacionaram-se significativamente com a produção acumulada de CO_2 (CO_2/kg agregados e CO_2/kg COT), como sugerem os elevados valores positivos dos coeficientes de correlação linear simples (Quadro 14). Esse comportamento indica que essas características são controladas pela atividade dos microrganismos. Entretanto, devido à redução acentuada dos teores de nitrogênio mineralizado anaerobicamente em profundidade, não houve correlação

significativa dessa característica com produção acumulada de CO₂ na profundidade de 15-20 cm (Quadro 14).

As correlações significativas entre frações orgânicas de maior labilidade, como o carbono orgânico dos ácidos fúlvicos e o carbono orgânico lábil determinado por KMnO₄ 15,6 mmol/L, e CO₂/kg agregados, observadas somente na camada mais superficial do solo (5-10 cm) (Quadro 14), estão associadas aos maiores teores de matéria orgânica nessa profundidade.

Por sua vez, a correlação negativa encontrada entre o carbono orgânico da fração ácidos húmicos e o CO₂/kg COT (Quadro 14) indica que os ácidos húmicos, por se tratar de moléculas orgânicas mais estáveis, tendem a ser menos preferidos pelos microrganismos que atuam na mineralização da matéria orgânica, acarretando menores valores de produção de CO₂.

Quadro 14 - Coeficientes de correlação linear simples entre características relacionadas ao carbono orgânico (CO) e ao nitrogênio (N), determinadas antes do experimento de evolução de CO₂, para amostras do Latossolo Vermelho retiradas a 5-10 e 15-20 cm de profundidade

Característica	CO ₂		t _{1/2}	
	Agregados	COT	Agregados	COT
Profundidade de 5-10 cm				
CO – Total (COT)	0,329	-0,225	-0,355	-0,364
CO – Ácidos fúlvicos	0,604*	0,119	-0,623*	-0,639*
		-		
CO – Ácidos húmicos	-0,230	0,669**	-0,195	-0,190
CO – Huminas	0,403	-0,027	-0,047	-0,060
CO – Solúvel em água (COS)	0,700**	0,824**	-0,291	-0,308
CO – Lábil (33,0 mmol/L)	0,079	-0,439	-0,441	-0,451
CO – Lábil (15,6 mmol/L)	0,569**	0,075	-0,514*	-0,530*
N – Total (NT)	0,735**	0,307	-0,646*	-0,661**
N – Mineralizado anaerobicamente (NMA)	0,891**	0,722**	-0,613*	-0,628*
		-		
COT/NT (relação C/N)	-0,584*	0,746**	0,429	0,440

COS/NMA	-0,757**	-0,538*	0,723**	0,738**
CO ₂ /kg agregados		0,831**	-0,460	-0,466
CO ₂ /kg COT			-0,242	-0,241
t _{1/2} /kg agregados				0,999**

Profundidade de 15-20 cm

CO – Total (COT)	-0,2428	-0,653*	-0,071	-0,055
CO – Ácidos fúlvicos	-0,210	-0,596*	-0,217	-0,210
		-		
CO – Ácidos húmicos	-0,495	0,799**	-0,002	0,011
CO – Huminas	-0,193	-0,556*	0,261	0,272
CO – Solúvel em água	0,764**	0,873**	0,191	0,180
		-		
CO – Lábil (33,0 mmol/L)	-0,443	0,770**	-0,209	-0,195
		-		
CO – Lábil (15,6 mmol/L)	-0,337	0,676**	-0,232	-0,214
N – Total (NT)	0,028	-0,346	-0,359	-0,351
N – Mineralizado anaerobicamente (NMA)	0,219	-0,005	-0,539*	-0,535*
COT/NT (relação C/N)	-0,433	-0,575*	0,395	0,411
COS/NMA	-0,119	0,086	0,627*	0,620*
CO ₂ /kg agregados		0,892**	0,450	0,443
CO ₂ /kg COT			0,376	0,363
t _{1/2} /kg agregados				0,999**

*, **: significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

O sinal negativo do coeficiente de correlação linear simples observado entre t_{1/2}/kg agregados e características relacionadas ao carbono orgânico e ao nitrogênio (Quadro 14) indica que, quanto menor o t_{1/2}, maior a labilidade dos compostos orgânicos. Dentre essas características, o nitrogênio mineralizado anaerobicamente merece destaque, por ter apresentado correlação significativa com t_{1/2}/kg agregados em ambas as profundidades. A correlação entre t_{1/2}/kg COT e essas características ocorreu de forma semelhante. Em decorrência disso, o maior coeficiente de correlação linear simples encontrado foi aquele que relacionou t_{1/2}/kg agregados e t_{1/2}/kg COT (r = 0,999**) (Quadro 14).

Outra característica que se correlacionou significativamente com t_{1/2} foi a relação entre o carbono orgânico solúvel em água e o nitrogênio mineralizado

anaerobicamente (Quadro 14). Neste caso, o elevado valor do coeficiente de correlação linear simples (positivo) observado indica que o comportamento de ambas as características foi semelhante. Esses resultados sugerem que esta relação é mais apropriada do que a relação C/N, quando se quer avaliar mudanças nos compartimentos mais lábeis da matéria orgânica.

O fato de não ter ocorrido correlação significativa entre a produção acumulada de CO₂ e t_{1/2} (Quadro 16) mostra que, enquanto os valores de t_{1/2} variaram bastante, os de produção acumulada de CO₂ se comportaram diferentemente, o que se deve principalmente à diminuição da atividade microbiana após atingir t_{1/2}, resultando em valores mais próximos de produção acumulada de CO₂ no final do período de incubação.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Objetivou-se, com este trabalho, caracterizar o carbono orgânico e o nitrogênio em diferentes classes de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico de Minas Gerais sob vegetação natural de Cerradão e sob cultivo com milho durante 30 anos.

Para isso, retiraram-se amostras do solo em quatro pontos diferentes nas profundidades de 5-10 e 15-20 cm, definidas na área cultivada, em função da resistência à penetração, utilizando-se um penetrógrafo. As mesmas profundidades foram adotadas para a coleta das amostras de solo sob vegetação natural. Após coletado, o material foi seco ao ar e fracionado, por via seca, nas

classes de agregados de: 4,75-2,0; 2,0-1,0; 1,0-0,5; 0,5-0,25; 0,25-0,105; e <0,105 mm de diâmetro.

Nesses materiais, determinaram-se o carbono orgânico total, o carbono orgânico das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas, o carbono orgânico solúvel em água, o carbono orgânico lábil determinado com KMnO_4 15,6 e 33,0 mmol/L, o nitrogênio total e o nitrogênio mineralizado anaerobicamente. Os materiais ainda foram submetidos a um ensaio de respirometria, em que os valores da produção de CO_2 foram expressos em relação à massa de agregados e de carbono orgânico total.

Os valores da produção de CO_2 foram ajustados a equações logísticas [$Y = a/(1+e^{-(b+cx)})$] e estimou-se o tempo necessário para atingir a metade da produção máxima de CO_2 ($t_{1/2}$). A evolução de CO_2 se constitui em um método-referência para avaliar a atividade dos microrganismos que atuam na mineralização da matéria orgânica do solo, e o $t_{1/2}$ permite inferir a velocidade de mineralização e, conseqüentemente, a labilidade da matéria orgânica.

Os resultados experimentais mostraram que a cobertura vegetal exerce influência sobre os teores de carbono orgânico e de nitrogênio. No solo sob cultivo com milho, as formas mais estáveis predominaram, enquanto as formas mais lábeis sobressaíram no solo sob vegetação natural. Os teores de carbono orgânico e de nitrogênio tenderam a aumentar com a diminuição do tamanho dos agregados. O carbono orgânico solúvel em água, o nitrogênio mineralizado anaerobicamente e a relação entre essas características constituem medidas adequadas para detectar mudanças na labilidade da matéria orgânica do solo, em função do manejo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, D.W., SAGGAR, S., BETTANY, J.R., STEWART, J.W.B.
Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter: I. The nature and distribution of forms of carbon, nitrogen, and sulfur. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, n.4, p.767-772, 1981.
- ANDERSON, J.M., FLANAGAN, P.W. Biological processes regulating organic matter dynamics in tropical soils. In: COLEMAN, D.C., OADES, J.M., UEHARA, G. (Eds.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: NifTAL Project, 1989. p.97-123.
- AYANABA, A., TUCKWELL, S.B., JENKINSON, D.S. The effects of clearing and cropping on the organic reserves and biomass of tropical forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.8, n.6, p.519-525, 1976.

- BARTLETT, R.J., ROSS, D.S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, n.4, p.1191-1192, 1988.
- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. Porto Alegre: UFRGS, 1996. 241p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.
- BAYER, C., BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.3, p.687-694, 1999.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A., CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.9-26.
- BEARE, M., CABRERA, M., HENDRIX, P., COLEMAN, D. Aggregate protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.3, p.787-795, 1994a.
- BEARE, M., HENDRIX, P., COLEMAN, D. Water stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.3, p.777-786, 1994b.
- BENITES, V.M. **Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica e suas relações com a gênese de solos da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata Mineira**. Viçosa: UFV, 1998. 123p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- BESNARD, E., CHENU, C., BALESSENT, J., PUGET, P., ARROUAYS, D. Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. **European Journal of Soil Science**, v.47, n.4, p.495-503, 1996.
- BLAIR, G.J., LEFROY, R.D.B., LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agriculture Research**, v.46, n.7, p.1459-1466, 1995.
- BREMNER, J.M., MULVANEY, C.S. Nitrogen - total. In: PAGE, A.L., MILLER, R.H., KEENEY, D.R. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2 ed. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1982. p.595-624. (Agronomy Series, 9).

- BROWN, S., LUGO, A.E. Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and US Virgin Islands. **Plant and Soil**, v.124, n.1, p.53-64, 1990.
- CAMARGO, F.A.O., GIANELLO, C., TEDESCO, M.J., VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A., CAMARGO, F.A.O.(Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.117-137.
- CAMARGO, F.A.O., GIANELLO, C., VIDOR, C. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.4, p.575-579, 1997.
- CAMBARDELLA, C.A., ELLIOT, E.T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.1, 123-130, 1994.
- CAMBARDELLA, C.A., ELLIOT, E.T. Particulate organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, n.3, p.777-783, 1992.
- CARVALHO, M.A. **Retenção de água e outros atributos físicos de agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro**. Viçosa: UFV, 1998. 83p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- CASTRO FILHO, C., MUZILLI, O., PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.3, p.527-538, 1998.
- CHRISTENSEN, B.T., OLESEN, J.E. Nitrogen mineralization potential of organomineral size separates from soils with annual straw incorporation. **European Journal of Soil Science**, v.49, n.1, 25-36, 1998.
- COLNAGO, L.H., MARTIN-NETO, L., BISCEGLI, C.I., NASCIMENTO, O.R., BONAGAMBA, T.J., PANEPUCCI, H., VIEIRA, E.M., SEIDL, P.R., SPOSITO, G., OPELLA, S.J. Aplicações da Ressonância Magnética Nuclear (RMN) e Ressonância Paramagnética Eletrônica (EPR). In: CRESTANA, S., CRUVINEL, P.E, MASCARENHAS, S., BISCEGLI, C.I., MARTIN-NETO, L., COLNAGO, L.H.(Eds.). **Instrumentação agropecuária: contribuições no limiar do novo século**. Brasília, EMBRAPA-SPI, 1996. p.15-50.

- CURL, E.A., RODRIGUEZ-KABANA, R. Microbial interactions. In: WILKINSON, R.E (Ed.). **Research methods in weed science**. Atlanta: Southern Weed Science Society, 1972. p.162-194.
- DALAL, R.C., MAYER, R.J. Long-terms trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. **Australian Journal of Soil Research**, v.24, p.281-292, 1986.
- DEFELIPO, B.V., RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo: metodologia**. Viçosa: UFV, 1981. 15p.
- DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, v.11, p.199-238, 1988.
- DUXBURY, J.M., SMITH, M.S., DORAN, C., SZOTT, L., VANCE, E. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C., OADES, J.M., UEHARA, G. (Eds.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: NifTAL Project, 1989. p.33-67.
- ELLERT, B.H., GREGORICH, E.G. Management-induced changes in the actively cycling fractions of soil organic matter. In: McFEE, W.W., KELLY, J.M. (Eds.). **Carbon forms and functions in forest soils**. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America, 1995. p.119-138.
- ELLIOT, E.T. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, n.3, p.627-633, 1986.
- ELLIOT, E.T., CAMBARDELLA, C.A. Physical separation of soil organic matter. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.34, p.407-419, 1991.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.
- FELLER, C., BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v.79, n.1/4, p.69-116, 1997.
- FERNANDES, E.C.M., MOTAVALLI, P.P., CASTILLA, C., MUKURUMBIRA, L. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. **Geoderma**, v.79, p.49-67, 1997.
- GOMES, P.C. **Influência da cobertura vegetal na formação e evolução do húmus e sua relação com algumas propriedades físico-químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo do município de Viçosa-MG**. Viçosa: UFV,

1992. 60p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.

GUERRA, J.G.M., SANTOS, G.A. Métodos químicos e físicos. In: SANTOS, G.A., CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.267-291.

HASSINK, J., WHITMORE, A.P. A model of the physical protection of organic matter in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, n.1, p.131-139, 1997.

HAYNES, R.J., SWIFT, R.S., STEPHEN, R.C. Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, stable aggregation and clod porosity in a group of soils. **Soil and Tillage Research**, v.19, p.77-87, 1991.

JENKINSON, D.S. Soil organic matter and its dynamics. In: WILD, A. (Ed.). **Russel's soil conditions and plant growth**. 11.ed. New York: Longman, 1988. p.564-607.

JUMA, N.G. Interrelations between soil structure/texture, soil biota/soil matter and crop production. **Geoderma**, v.57, n.1/2, p.3-30, 1993.

KEENEY, D.R. Nitrogen - availability indices. In: PAGE, A. L., MILLER, R. H., KEENEY, D. R. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2 ed. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1982. p.711-733 (Agronomy Series, 9).

LONGO, J.V. **Fracionamento e caracterização de substâncias húmicas em materiais de solo**. Viçosa: UFV, 1982. 66p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1982.

LOPES, A.S., COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under "cerrado" vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v.41, n.4, p.742-747, 1977.

MAIA, C.E. Reserva e disponibilidade de nitrogênio pela adição continuada da adubação orgânica e da mineral na cultura do milho em um

Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico. Viçosa: UFV, 1999. 55p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1999.

MARTIN, J.P., MARTIN, W.P., PAGE, J.B., RANEY, W.A., DE MENT, J.D. Soil aggregation. **Advances in Agronomy**, v.7, p.1-37, 1955.

MARTIN-NETO, L., ANDRIULO, A.E., TRAGHETTA, D.N. Effects of cultivation on ESR spectra of organic matter from soil size fractions of a molisol. **Soil Science**, v.157, n.6, p.365-372, 1994.

MENDONÇA, E.S. **Matéria orgânica e características químicas de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob mata natural, seringueira e pastagem.** Viçosa: UFV, 1988. 78p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1988.

MENDONÇA, E.S. **The effects of the organic and mineral fractions on the acidity and charge of soils from the Cerrado Region, Brazil.** Reading: University of Reading, 1992. 230p. (Tese de Doutorado) - University of Reading, Department of Soil Science, 1992.

MICHEL, K., MARITXU, G., RENÉ, B.J., REVEL, J.C. Influencia de las substancias húmicas sobre las características bio-físico-químicas de los suelos. Consecuencias sobre la nutrición mineral de las plantas. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 1, SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 4, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 6, REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, Águas de Lindóia, 1996. **Solo Suelo 96**. Piracicaba: USP-ESALQ / SLCS / SBSC / CEA / SBM, 1996 (Conferencias, CD-ROM).

NASCIMENTO, V.M., ALMENDROS, G., FERNANDES, F.M. Soil humus characteristics in virgin and cleared areas of the Parana river basin in Brazil. **Geoderma**, v.54, n.1/4, p.137-150, 1992.

NELSON, D. W., SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: PAGE, A. L., MILLER, R. H., KEENEY, D. R. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2 ed. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1982. p.539-579 (Agronomy Series, 9).

- OADES, J.M. An introduction to organic matter in mineral soils. In: DIXON, J.B., WEED, S.B. (Eds.). **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 89-160.
- OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, v.76, n.1/3, p.319-337, 1984.
- OADES, J.M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, v.56, p.377-400, 1993.
- OADES, J.M., GILMAN, G.P., UEHARA, G, HUE, N.V., van NOORDWIJK, M, ROBERTSON, G.P., WADA, K. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. In: COLEMAN, D.C., OADES, J.M., UEHARA, G. (Eds.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: NIFTAL Project, 1989. p.69-95.
- PARRA, M.S. **Dinâmica de matéria orgânica e de nutrientes num latossolo roxo distrófico submetido aos sistemas de plantio convencional e direto e diferentes sucessões de culturas**. Viçosa: UFV, 1986. 94p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1985.
- PERES, J.R., SUHET, A.R., VARGAS, M.A.T., DROZDOWICZ, A. Litter production in areas of Brazilian "Cerrados". **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, n.9, p.1037-1043, 1983.
- QUIROGA, A.R., BUSCHIAZZO, D.E., PEINEMANN, N. Soil organic matter particle size fractions in soils of the semiarid argentinean pampas. **Soil Science**, v.161, n.2, p.104-108, 1996.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres/POTAFOS, 1991. 343p.
- ROSA, M.E.C. **Formas de carbono e características físicas, químicas e mineralógicas de um Latossolo Roxo sob plantio direto e mata, no sistema biogeográfico do cerrado**. Viçosa: UFV, 1998. 79p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- SANCHEZ, P.A., PALM, C.A., SZOTT, L.T., CUEVAS, E., LAL, R., FOWNES, J.H., HENDRIX, P., IKAWA, H., JONES, S., NOORDWIJK, M. van, UEHARA, G. Organic input management in tropical agroecosystems. In: COLEMAN, D.C., OADES, J.M., UEHARA, G. (Eds.). **Dynamics of soil**

organic matter in tropical ecosystems. Hawaii: NifTAL Project, 1989. p.125-152.

SCHNITZER, M. Organic matter characterization. In: PAGE, A.L., MILLER, R.H., KEENEY, D. R. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2 ed. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1982. p.581-594. (Agronomy Series, 9).

SCHNITZER, M., KODAMA, H. Interactions between organic and inorganic components in particle-size fractions separated from four soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, n.4, p.1099-1105, 1992.

SCHULTEN, H. R., LEINWEBER, P., SORGE, C. Composition of organic matter in particle-size fractions of an agricultural soil. **Journal of Soil Science**, v.44, n.4, p.677-691, 1993.

SCHULTEN, H. R., SCHNITZER, M. Chemical model structures for soil organic matter and soils. **Soil Science**, v.162, n.2, p.115-130, 1997.

SCOTT, N.A., COLE, C.V., ELLIOTT, E.T., HUFFMAN, S.A. Soil textural control on decomposition and soil organic matter dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, n.4, p.1102-1109, 1996.

SEECH, A.G., BEAUCHAMP, E.G. Denitrification in soil aggregates of different sizes. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, n.6, p.1616-1621, 1988.

SHANG, C., TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Science**, v.162, n.11, p.795-807, 1997.

SILVA, C. A., ANDERSON, S. A., VALE, F.R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois latossolos submetidos à calagem e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.3, p.593-602, 1999.

SIQUEIRA, J.O., FRANCO, A.A. **Biotechnology do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC / ESAL / FAEPE / ABEAS, 1988. 235p.

SOUZA, A.P. **Movimento e degradação do glyphosate e do imasapyr em solos com diferentes texturas e composição química**. Viçosa: UFV, 1998. 95p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry, genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley & Sons, 1982. 443p.

- STEVENSON, F.J., ELLIOTT, E.T. Methodologies for assessing the quantity and quality of soil organic matter. In: COLEMAN, D.C., OADES, J.M., UEHARA, G. (Eds.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: NifTAL Project, 1989. p.173-199.
- TEDESCO, M.J., VOLKWEISS, S.J, BOHEN, H. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985. 186p. (Boletim Técnico de Solos, 5).
- THENG, B.K.G., TATE, K.R., SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D.C., OADES, J.M., UEHARA, G. (Eds.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii: NifTAL Project, 1989. p.5-32.
- TIESSSEN, H., STEWART, W.B. Particle size fractions and their uses in studies of soil organic matter. II. Cultivation effects on organic matter composition of size fractions. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, n.3, p.509-514, 1983.
- TISDALE, S.L., NELSON, W.L., BEATON, J.D. Soil and fertilizer nitrogen. In: TISDALE, S.L., NELSON, W.L., BEATON, J.D. (Eds.). **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan Publishing Company, 1985. p.112-188.
- TISDALL, J. M., OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.33, n.2, p.141-163, 1982.
- TSAI, S.M., BARAIBAR, A.V.L., ROMANI, V.L.M. Efeito de fatores do solo. In: CARDOSO, E.J.B.N., TSAI, S.M., NEVES, M.C.P. (Coords.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.59-72.
- TURCHENEK, L.W., OADES, J.M. Fractionation of organic-mineral complexes by sedimentation and density techniques. **Geoderma**, v.21, p.311-343, 1979.
- van VEEN, J.A., KUIKMAN, P.J. Soil structural aspects of decomposition of organic matter by microorganisms. **Biogeochemistry**, v.11, p.213-223, 1990.
- van VEEN, J.A., LADD, J.N., AMATO, M. Turnover of carbon and nitrogen through the microbial biomass in a sandy loam and a clay soil incubated with [¹⁴C(U)]glucose and [¹⁵N](NH₄)₂SO₄ under different moisture regimes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.17, n.6, p.747-756, 1985.
- VEGA-COREA, E.J. **Avaliação do carbono orgânico do solo sob diferentes condições de manejo**. Viçosa: UFV, 1998. 77p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.

WANG, X.J., SMETHURST, P.J., HOLZ, G.K. Nitrogen mineralization indices in Ferrosols under eucalypt plantations of north-western Tasmania: association with previous land use. **Australian Journal of Soil Research**, v.34, n.6, p.925-935, 1996.

YEOMANS, J.C., BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, n.13, p.1467-1476, 1988.

ZECH, W., SENESI, N., GUGGENBERGER, G., KAISER, K., LEHMANN, J., MIANO, T.M., MILTNER, A., SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v.79, n.1/4, p.117-161, 1997.

APÊNDICE

Quadro 1A - Análise de variância do carbono orgânico total e do carbono orgânico das substâncias húmicas, considerando a cobertura do solo e a classe de agregados do Latossolo Vermelho para amostras retiradas a 5-10 (P₁) e 15-20 cm (P₂) de profundidade

Fontes de Variação	GL	Quadro Médio		
		P ₁	P ₂	P ₁ /P ₂
Carbono Orgânico Total dos Agregados Não-Triturados				
Blocos	3	5,030	6,396	0,01880
Cobertura	1	48,369**	214,011**	0,16515**
Classe d/Cerradão	5	78,616**	46,227**	0,00586
Classe d/Milho	5	129,076**	59,686**	0,02087
Resíduo	33	6,085	4,300	0,01602
CV (%)		9,21	8,50	11,46
Carbono Orgânico Total dos Agregados Triturados				
Blocos	3	21,829*	1,407	0,01727
Cobertura	1	72,783**	253,749**	0,12108**
Classe d/Cerradão	5	39,722**	19,172**	0,00528
Classe d/Milho	5	83,241**	34,348**	0,02138*
Resíduo	33	5,176	2,774	0,00689
CV (%)		7,65	6,23	7,44
Carbono Orgânico da Fração Ácidos Fúlvicos nos Agregados Triturados				
Blocos	3	0,1930	0,2806*	0,01444*
Cobertura	1	0,1457	3,5835**	0,14176
Classe d/Cerradão	5	0,7194**	0,6187**	0,00281
Classe d/Milho	5	1,2957**	0,9922**	0,00104
Resíduo	33	0,0744	0,0714	0,00416
CV (%)		4,29	4,28	6,30
Carbono Orgânico da Fração Ácidos Húmicos nos Agregados Triturados				
Blocos	3	2,042*	0,928	0,03796
Cobertura	1	72,791**	122,292**	0,44300**
Classe d/Cerradão	5	1,501*	0,700	0,00326
Classe d/Milho	5	5,857**	2,891**	0,00493
Resíduo	33	0,538	0,497	0,01773
CV (%)		8,74	9,79	11,19
Carbono Orgânico da Fração Huminas nos Agregados Triturados				
Blocos	3	29,531**	9,080**	0,0832
Cobertura	1	1,401	28,398**	0,2361*

Classe d/Cerradão	5	4,211*	1,478	0,0170
Classe d/Milho	5	9,735**	2,792	0,0357
Resíduo	33	1,639	1,307	0,0338
CV (%)		10,81	11,56	15,21

*, **: significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 2A - Análise de variância da produção acumulada de CO₂ em 37 dias de incubação, considerando a cobertura do solo e a classe de agregados do Latossolo Vermelho para amostras retiradas a 5-10 (P₁) e 15-20 cm (P₂) de profundidade

Fontes de variação	GL	Quadrado Médio	
		P ₁	P ₂
Produção Acumulada de CO₂/kg de Agregados			
Blocos	3	1,06979**	0,11181*
Cobertura	1	1,59086**	0,87518**
Classe d/Cerradão	5	0,34444*	0,08636
Classe d/Milho	5	0,10139	0,13377*
Resíduo	33	0,09708	0,03692
CV (%)		25,99	18,52
Produção Acumulada de CO₂/kg de Carbono Orgânico Total			
Blocos	3	939,02**	126,01
Cobertura	1	2585,1**	3607,4**
Classe d/Cerradão	5	162,73	234,23**
Classe d/Milho	5	49,385	66,961
Resíduo	33	105,82	59,687
CV (%)		25,44	19,42

*, **: significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 3A - Análise de variância do carbono orgânico solúvel em água (COS), antes e após o experimento de evolução de CO₂, considerando a cobertura do solo e a classe de agregados do Latossolo Vermelho para amostras retiradas a 5-10 (P₁) e 15-20 cm (P₂) de profundidade

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio		
		P ₁	P ₂	P ₁ /P ₂
COS (Antes)				
Blocos	3	1042,133**	533,140**	0,23483**
Cobertura	1	16899,08**	5174,626**	0,36125**
Classe d/Cerradão	5	53,788	233,863**	0,02199
Classe d/Milho	5	111,176	93,790	0,00602
Resíduo	33	70,225	45,429	0,00881
CV (%)		8,45	6,68	9,53
COS (Após)				
Blocos	3	576,957**	34,195	0,1796**
Cobertura	1	3554,991**	0,3755	0,8048**
Classe d/Cerradão	5	172,761	55,672	0,0461
Classe d/Milho	5	133,005	101,682	0,0302
Resíduo	33	84,299	69,608	0,0290
CV (%)		11,67	12,58	14,18
COS (Antes)/COS (Após)				
Blocos	3	0,3337**	0,2007**	
Cobertura	1	0,4700**	1,0661**	
Classe d/Cerradão	5	0,0722	0,0167	
Classe d/Milho	5	0,0249	0,0280	
Resíduo	33	0,0351	0,0381	
CV (%)		14,70	12,68	

** : significativo a 1% pelo teste F.

Quadro 4A - Análise de variância do carbono orgânico lábil (COL) determinado por KMnO_4 33,0 mmol/L, antes e após o experimento de evolução de CO_2 , considerando a cobertura do solo e a classe de agregados do Latossolo Vermelho para amostras retiradas a 5-10 (P_1) e 15-20 cm (P_2) de profundidade

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio		
		P_1	P_2	P_1/P_2
COL (Antes)				
Blocos	3	1,3775**	1,4765**	1,9215**
Cobertura	1	0,6745**	2,0530**	0,1840**
Classe d/Cerradão	5	0,1537**	0,0669*	0,0133
Classe d/Milho	5	0,3609**	0,1275**	0,0139
Resíduo	33	0,0333	0,0200	0,0114
CV (%)		6,68	6,41	8,29
COL (Após)				
Blocos	3	1,3770**	0,4109**	0,62113**
Cobertura	1	0,1947	2,0249**	0,44243**
Classe d/Cerradão	5	0,2130**	0,0551	0,00569
Classe d/Milho	5	0,4316**	0,2244**	0,00746
Resíduo	33	0,0533	0,0318	0,01632
CV (%)		7,69	7,76	9,61
COL (Antes)/COL (Após)				
Blocos	3	0,249125**	0,50775**	
Cobertura	1	0,020047**	0,00160	
Classe d/Cerradão	5	0,000419	0,00258	
Classe d/Milho	5	0,001019	0,00524	
Resíduo	33	0,002381	0,00462	
CV (%)		5,30	6,97	

*, **: significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 5A - Análise de variância do carbono orgânico lábil (COL) determinado por KMnO_4 15,6 mmol/L, antes e após o experimento de evolução de CO_2 , considerando a cobertura do solo e a classe de agregados do Latossolo Vermelho para amostras retiradas a 5-10 (P_1) e 15-20 cm (P_2) de profundidade

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio		
		P_1	P_2	P_1/P_2
COL (Antes)				
Blocos	3	0,3667**	0,6328**	0,1095**
Cobertura	1	0,00183	0,4363**	0,3892**
Classe d/Cerradão	5	0,0802	0,0346	0,0342
Classe d/Milho	5	0,1377**	0,0773**	0,0243
Resíduo	33	0,0367	0,0191	0,0137
CV (%)		11,24	9,90	9,41
COL (Após)				
Blocos	3	0,7147**	0,73914**	2,0521**
Cobertura	1	0,000255	0,53416**	0,6017**
Classe d/Cerradão	5	0,0562*	0,02361*	0,0120
Classe d/Milho	5	0,0942**	0,0460**	0,0121
Resíduo	33	0,0208	0,00745	0,0132
CV (%)		7,84	6,22	8,31
COL (Antes)/COL (Após)				
Blocos	3	0,612010**	0,8537**	
Cobertura	1	0,000649	0,0134	
Classe d/Cerradão	5	0,001535	0,0234	
Classe d/Milho	5	0,009574	0,0126	
Resíduo	33	0,006028	0,0108	
CV (%)		8,19	9,99	

*, **: significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 6A - Análise de variância das relações entre o carbono orgânico lábil determinado por KMnO_4 33,0 mmol/L e aquele determinado por KMnO_4 15,6 mmol/L ($\text{COL}_{33,0}/\text{COL}_{15,6}$), antes e após o experimento de evolução de CO_2 , considerando a cobertura do solo e a classe de agregados do Latossolo Vermelho para amostras retiradas a 5-10 (P_1) e 15-20 cm (P_2) de profundidade

Fontes de variação	GL	Quadrado Médio	
		P_1	P_2
$\text{COL}_{33,0}/\text{COL}_{15,6}$ (Antes)			
Blocos	3	1,61426**	0,5002**
Cobertura	1	0,43768**	0,0897
Classe d/Cerradão	5	0,00214	0,0346
Classe d/Milho	5	0,02422	0,0403
Resíduo	33	0,01464	0,0253
CV (%)		7,38	9,92
$\text{COL}_{33,0}/\text{COL}_{15,6}$ (Após)			
Blocos	3	1,69681**	1,94264**
Cobertura	1	0,05869*	0,00326
Classe d/Cerradão	5	0,00682	0,00836
Classe d/Milho	5	0,01361	0,01558
Resíduo	33	0,00824	0,01514
CV (%)		5,44	7,22

*, **: significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 7A - Análise de variância do nitrogênio total, do nitrogênio mineralizado anaerobicamente, da relação entre o carbono orgânico total e o nitrogênio total (relação C/N) e da relação entre o carbono orgânico solúvel e o nitrogênio mineralizado anaerobicamente (relação COS/NMA), considerando a cobertura do solo e a classe de agregados do Latossolo Vermelho para amostras retiradas a 5-10 (P₁) e 15-20 cm (P₂) de profundidade

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio		
		P ₁	P ₂	P ₁ /P ₂
Nitrogênio Total				
Blocos	3	0,0416	0,0144	0,01739
Cobertura	1	0,3672**	0,1337**	0,31593**
Classe d/Cerradão	5	0,2858**	0,0903**	0,01426
Classe d/Milho	5	0,4080**	0,2703**	0,01228
Resíduo	33	0,0304	0,0135	0,00663
CV (%)		8,29	6,42	6,99
Nitrogênio Mineralizado Anaerobicamente				
Blocos	3	368,562**	31,089*	4,218**
Cobertura	1	4979,713**	241,468**	8,920**
Classe d/Cerradão	5	505,902**	300,895**	1,800**
Classe d/Milho	5	236,871**	151,560**	0,323
Resíduo	33	24,557	9,447	0,452
CV (%)		16,17	22,91	26,94
Relação C/N				
Blocos	3	2,226	2,402*	
Cobertura	1	67,342**	36,849**	
Classe d/Cerradão	5	1,528	0,919	
Classe d/Milho	5	1,412	4,301**	
Resíduo	33	1,149	0,746	
CV (%)		7,54	5,84	
Relação COS/NMA				
Blocos	3	4,725**	6,131	
Cobertura	1	17,201**	18,894	
Classe d/Cerradão	5	1,683*	39,072**	
Classe d/Milho	5	5,160**	45,800**	
Resíduo	33	0,469	4,727	
CV (%)		18,22	23,64	

*, **: significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

