

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

CINIRO COSTA JUNIOR

**Estoque de carbono e nitrogênio e agregação do solo sob diferentes
sistemas de manejo agrícola no Cerrado, em Rio Verde (GO)**

PIRACICABA, SP

2008

CINIRO COSTA JUNIOR

Estoque de carbono e nitrogênio e agregação do solo sob diferentes sistemas de manejo agrícola no Cerrado, em Rio Verde (GO)

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente

Orientador (a): Prof.^a Dr.^a Marisa de Cássia Piccolo

PIRACICABA, SP

2008

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Costa Junior, Ciniro

Estoque de carbono e nitrogênio e agregação do solo sob diferentes sistemas de manejo agrícola no Cerrado, em Rio Verde (GO) / Ciniro Costa Junior; orientadora Marisa de Cássia Piccolo. - - Piracicaba, 2008. 139 f. : fig.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Carbono 2. Ciclos biogeoquímicos 3. Isótopos estáveis 4. Matéria orgânica do solo 5. Microbiologia do solo 6. Uso do solo I. Título

CDU 631.417.1:631.434

“A vida da espécie, para o homem assim como para os animais, encontra sua base física no fato de o homem (como os animais) viver da natureza inorgânica, e como o homem é mais universal que um animal, assim também o âmbito da natureza inorgânica de que ele vive é mais universal. Vegetais, animais, minerais, ar, luz, etc., constituem, sob o ponto de vista teórico, uma parte da consciência humana como objetos da ciência natural e da arte; eles são a natureza inorgânica espiritual do homem, se meio intelectual de vida, que ele deve primeiramente preparar para seu prazer e perpetuação. Assim também, sob o ponto de vista prático, eles formam parte da vida e atividades humanas. Na prática, o homem vive apenas desses produtos naturais, sob a forma de alimento, aquecimento, roupa, abrigo, etc. A universalidade do homem aparece, na prática, na universalidade que faz da natureza inteira o seu corpo: 1) como meio direto de vida, e igualmente, 2) como o objeto material e o instrumento de sua atividade vital. A natureza é o *corpo inorgânico* do homem; quer isso dizer a natureza excluindo o próprio corpo humano. Dizer que o homem *vive* da natureza significa que a natureza é o *corpo* dele, com o qual deve se manter em contínuo intercâmbio a fim de não morrer. A afirmação de que a vida física e mental do homem e a natureza são interdependentes, simplesmente significa ser a natureza interdependente consigo mesma, pois o homem é parte dela.”

Karl Marx, 1844

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Ciniro Costa e Elisete Costa e meus irmãos Cícero e Cintia por todo apoio familiar fundamental.

A minha orientadora Marisa de Cássia Pícollo pelo apoio em todos os momentos da presente pesquisa.

Aos amigos Luis Foguete, Celsão e Sr. Jorge pela amizade.

A meu amigo Marcos Siqueira Neto e Chico Fujita pela ajuda científica e pessoal.

A meus amigos Ciro Righi, Alessandra Oliveira, Iasmim Oliveira, Luisa Oliveira e Felipe Oliveira por me ajudarem em muitos aspectos nessa fase da vida.

Aos pesquisadores Martial Bernoux (IRD-França) pelas diretrizes sugeridas para a realização da pesquisa.

Aos pesquisadores do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Carlos Clemente Cerri e Brigitte Feigl pela atenção e incentivo.

A Mara Casarin pelo auxílio indispensável frente à secretaria no Lab. De Biogeoquímica Ambiental.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo pela oportunidade e apoio.

A FAPESP (2004/15538-7) e a Fundação Agrisus (PA 116-04) pelo financiamento a pesquisa e apoio na apresentação em congressos dos trabalhos gerados com a presente pesquisa. E a FAPESP pela bolsa de estudo (06/52201-6) concedida.

Aos colegas de pós-graduação Medau, Gábor, Stécio, André, Joao, Tapi, Leidivan, Carol, Caio, Bruna, Cindy, Felipinho, Galdos, Cláudia e Sandra.

Aos técnicos do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Lilian, Sandra, Dagmar e Gregori; e aos estagiários Luis Otávio, Renata Dalfré, Matheus, Carlinha, Breno e Angélica

pela apoio na execução das análises da presente pesquisa.

Ao pessoal do Laboratório de Ecologia Isotópica, ao pesquisador da EMBRAPA-Solos Fabiano Balieiro, a pós-doutoranda Érika Pinheiro e a estagiária Ingrid (UFRRJ) pelo auxílio em parte das análises da presente pesquisa.

Ao pessoal: Fezinha, Tarta, Berna, Sorrão, Anderson, João, Leo, Ruiz, Perú e Sumodjo.

A equipe da Biblioteca do CENA e ao pessoal do Transporte pela ajuda indispensável para a realização do trabalho.

A June Minardi e Felipe Alvarez pela tradução dos resumos.

Ao fundamental apoio: Antonio Carlos Jobim, João Donato, Toquinho, Horace Silver, Lee Morgan, John Coltrane, Milton Banana, Tim Maia, Herbie Hancock, Chico Buarque, Jackson do Pandeiro, Hermeto Pascoal, aos muitos que não me lembro agora e aos que virão.

A todos aqueles que de certa forma contribuíram.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO..... | 9 |
| ABSTRACT..... | 11 |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 2 ESTOQUES DE C NO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS AGRÍCOLA NO CERRADO EM RIO VERDE (GO)..... | 25 |
| RESUMO..... | 25 |
| ABSTRACT..... | 26 |
| 2.1 INTRODUÇÃO..... | 27 |
| 2.2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 30 |
| 2.2.1 Localização e descrição da área de estudo..... | 30 |
| 2.2.2 Escolha e caracterização das áreas avaliadas..... | 31 |
| 2.2.3 Delineamento experimental..... | 35 |
| 2.2.4 Amostragem do solo..... | 35 |
| 2.2.5 Determinação da densidade e teores de C do solo..... | 36 |
| 2.2.6 Cálculo do estoque de C do solo..... | 36 |
| 2.2.7 Análise estatística..... | 38 |
| 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 38 |
| 2.3.1 Densidade do solo..... | 38 |
| 2.3.2 Teor e estoque de C do solo..... | 43 |
| 2.3.3 Estimativa da taxa de acúmulo de C..... | 50 |
| 2.4 CONCLUSÕES..... | 57 |
| 3 EFEITO DE SISTEMAS DE MANEJO AGRÍCOLA NOS ESTOQUES DE C E N E NA AGREGAÇÃO DO SOLO EM RIO VERDE (GO)..... | 58 |
| RESUMO..... | 58 |
| ABSTRACT..... | 59 |
| 3.1 INTRODUÇÃO..... | 60 |
| 3.2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 61 |
| 3.2.1 Localização e descrição da área de estudo..... | 61 |
| 3.2.2 Escolha e caracterização das áreas avaliadas..... | 61 |
| 3.2.3 Delineamento experimental..... | 62 |
| 3.2.4 Amostragem do solo..... | 62 |
| 3.2.5 Análises químicas e físicas..... | 62 |
| 3.2.6 Cálculo dos estoques de C e N e do diâmetro médio ponderado dos agregados do solo..... | 63 |
| 3.2.7 Análise estatística..... | 64 |
| 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 64 |
| 3.3.1 Teores e estoques de C e N do solo..... | 64 |
| 3.3.2 Distribuição das classes de agregados do solo..... | 70 |
| 3.3.3 C e N nas classes de agregados do solo..... | 76 |
| 3.3.4 Agregação e acúmulo de C do solo..... | 81 |
| 3.4 CONCLUSÕES..... | 83 |
| 4 CONCENTRAÇÕES ELEMENTAR E ISOTÓPICA DE C ($\delta^{13}\text{C}$) E N ($\delta^{15}\text{N}$) DO SOLO SOB CERRADO E PASTAGEM, EM RIO VERDE (GO)..... | 85 |
| RESUMO..... | 85 |
| ABSTRACT..... | 86 |
| 4.1 INTRODUÇÃO..... | 87 |
| 4.2 MATERIAL E METODOS..... | 89 |
| 4.2.1 Localização e descrição da área de estudo..... | 89 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.2.2 | Escolha e caracterização das áreas avaliadas..... | 89 |
| 4.2.3 | Delineamento experimental..... | 89 |
| 4.2.4 | Amostragem do solo..... | 89 |
| 4.2.5 | Análises químicas e físicas..... | 90 |
| 4.2.6 | Cálculo dos estoques de C e N e do diâmetro médio ponderado dos agregados do solo..... | 91 |
| 4.2.7 | Análise estatística | 91 |
| 4.3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 91 |
| 4.3.1 | Teores e estoque de C e N do solo..... | 91 |
| 4.3.2 | Agregação do solo | 95 |
| 4.3.3 | C e N nos agregados do solo..... | 98 |
| 4.3.4 | $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ do solo..... | 100 |
| 4.3.5 | Origem da MOS na área da pastagem..... | 102 |
| 4.3.6 | $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ nos agregados do solo..... | 104 |
| 4.4 | CONCLUSÕES..... | 107 |
| 5 | CARBONO, NITROGÊNIO E ATIVIDADE DA BIOMASSA MICROBIANA EM LATOSSOLO DO CERRADO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO, EM RIO VERDE (GO)..... | 108 |
| | RESUMO..... | 108 |
| | ABSTRACT..... | 109 |
| 5.1 | INTRODUÇÃO..... | 110 |
| 5.2 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 111 |
| 5.2.1 | Localização e descrição da área de estudo..... | 111 |
| 5.2.2 | Escolha e caracterização das áreas avaliadas..... | 111 |
| 5.2.3 | Delineamento experimental..... | 111 |
| 5.2.4 | Amostragem do solo..... | 111 |
| 5.2.5 | Estimativa do C e N microbiano do solo..... | 112 |
| 5.2.6 | Estimativa da respiração basal do solo e do coeficiente metabólico ($q\text{CO}_2$)..... | 112 |
| 5.2.7 | Análise estatística..... | 113 |
| 5.3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 113 |
| 5.3.1 | C e N no solo e microbiano..... | 113 |
| 5.3.2 | Relações $C_{mic}:C_{total}$ e $N_{mic}:N_{total}$ | 120 |
| 5.3.3 | Respiração basal do solo e índice $q\text{CO}_2$ | 121 |
| 5.4 | CONCLUSÕES..... | 124 |
| 6 | CONCLUSÃO GERAL..... | 125 |
| 7 | REFERÊNCIAS..... | 127 |

RESUMO

COSTA JUNIOR, C. Estoque de carbono e nitrogênio e agregação do solo sob diferentes sistemas de manejo agrícola no Cerrado, em Rio Verde (GO), 2008, 139 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba.

O bioma Cerrado ocupa aproximadamente 20% do território brasileiro e dos seus 207 milhões de hectares, 14 são ocupados com agricultura (grãos) e 50 por pastagens cultivadas. Dessa forma, o conhecimento da dinâmica da matéria orgânica (MOS) e da agregação do solo com o emprego de diferentes usos da terra e manejos agrícolas após a conversão do sistema nativo é de extrema importância para o desenvolvimento socioeconômico e, principalmente, ambiental da região no que se refere à sustentabilidade dos sistemas produtivos. O objetivo desta pesquisa foi avaliar as alterações nos estoques de C e N, assim como a agregação, o fracionamento da MOS, a origem do C e N ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) e as propriedades microbiológicas do solo. O estudo foi realizado em um Latossolo vermelho distrófico de textura argilosa (50-70% de argila) no município de Rio Verde (GO) ($17^{\circ}39'07''\text{S}$ e $51^{\circ}06'49''\text{O}$). As áreas consistiram de um sistema nativo de fitofisionomia Cerradão (CE), uma pastagem de baixa produtividade com 20 anos (PA-20), um sistema plantio convencional com 29 anos (SPC-29) e quatro sistemas plantio direto com 3 (SPD-3), 7 (SPD-7), 10 (SPD-10) e 15 (SPD-15) anos de uso. As amostras de solo (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm) foram coletadas em julho de 2006 (época seca) e fevereiro de 2007 (época chuvosa). Os estoques de C do solo, além de comparados entre as áreas de estudo, também foram comparados aos resultados obtidos nos mesmos locais em um estudo anterior realizado há 3 anos (2004). A densidade foi inferior e o teor e estoque de C do solo (0-40 cm) superior nas áreas sob CE, SPD-15 e SPD-10 (exceto a densidade) em relação às demais áreas. No período médio de 3 anos não houve diferenças estatísticas entre os estoques de C, enquanto a densidade do solo elevou-se significativamente nas áreas SPC-29 e SPD-7. As áreas sob SPD apresentaram taxa média de acúmulo de C anual no solo estimada em 1.17 Mg ha^{-1} . Esses resultados sugeriram que a prática do SPD nas áreas verificadas, precedido por nove anos de cultivo sob SPC, levou aproximadamente dez anos para o restabelecimento do estoque de C semelhante à condição sob vegetação original do Cerrado. Foi verificada elevada agregação do solo, semelhante nas épocas seca e chuvosa, com predominância de agregados $>2,00 \text{ mm}$ em todas as áreas e camadas de solo avaliadas. No CE e na PA-20 foram observados os maiores DMP e quantidades de agregados $>2,00\text{mm}$, sendo que os sistemas de plantio afetaram negativamente essas variáveis. Nos sistemas agrícolas, os SPD tiveram os maiores valores DMP e agregados $> 2,00 \text{ mm}$ em comparação ao SPC-29 na camada 0-5 cm de solo. Quanto a quantidade de MOS leve livre e aos teores de C e N nas classes de agregados do solo, o CE e o SPD-15 em comparação as demais áreas indicaram maiores valores, com intermediários no SPD-10 (exceto N). Os teores de C, principalmente na classe de agregado $>0,25 \text{ mm}$ (0-5 cm), o DMP e estoque de C (0-20 cm) apresentaram correlação significativamente positiva. Dessa forma, as observações referentes ao C e a agregação do solo indicaram que a preservação e a manutenção da classe de agregados $>0,25 \text{ mm}$ foram processos fundamentais para os maiores níveis de C observados no CE, SPD-10 e SPD-15. E a quantidade de MOS leve livre verificada, componente responsável pela manutenção dos agregados, concordam com a correlação observada. Na área PA-20, mesmo com elevada agregação do solo, provavelmente pela baixa produtividade da gramínea não houve disponibilidade suficiente de C (via MOS) para a manutenção das classes de agregados, acarretando no menor estoque de C em relação as demais áreas (exceto ao SPC-29). A mesma insuficiência de MOS ocorreu na área SPC-29, mas nesse caso devido ao revolvimento do

solo que acelerou a oxidação da MOS, visto que o aporte de resíduos culturais na área é semelhante as sob SPD, por utilizarem a mesma sucessão de culturas. No CE os valores mais negativos de $\delta^{13}\text{C}$ observados em relação a PA-20 representam a predominância de plantas de ciclo fotossintético C3. E o mesmo padrão significativo de enriquecimento de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ no solo em profundidade ocorreu devido à mineralização da MOS, exceto nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ na PA-20 provavelmente a gradativa substituição da MOS original. Os menores valores de $\delta^{15}\text{N}$ no Cerrado podem estar indicando maior fixação biológica de N em relação à pastagem. Da MOS original do CE, 83% foi substituída na área PA-20 e apesar da elevada substituição, demonstra que baixa produtividade da gramínea pode ter influenciado no menor estoque de C da área em relação ao CE. Não foram verificadas diferenças nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ entre as classes de agregados em cada área de pesquisa. Os valores de C e N microbiano (Cmic e Nmic), assim como as relações com os teores de C e N totais, e o $q\text{CO}_2$ foram influenciados pelas estações sazonais, sendo maiores na época chuvosa, exceto para o $q\text{CO}_2$. Menores valores de $q\text{CO}_2$ na época chuvosa refletiram maior eficiência de imobilização de C na biomassa microbiana. Para as áreas sob uso da terra, os maiores valores de Cmic e Nmic foram observados na PA-20 e os menores no SPC-29. Esses resultados indicaram melhores condições ao desenvolvimento microbiano na PA-20 provavelmente ao cultivo da gramínea, a excreção dos animais e a reforma da área (dezembro/2007). A adoção do SPD foi importante fator no aumento do Cmic e Nmic em relação ao SPC, possivelmente ao não revolvimento do solo e aporte de resíduos e superfície, que com o tempo de implantação adaptou a biomassa microbiana a uma nova condição. O Cmic e o Nmic indicaram alterações nas áreas implantadas em relação ao Cerrado e apontou maior equilíbrio da microbiota nessa área.

Palavras-chave: Carbono, ciclos biogeoquímicos, isótopos estáveis, matéria orgânica do solo, microbiologia do solo, uso do solo

ABSTRACT

COSTA JUNIOR, C. **Carbon and nitrogen stocks and soil aggregation under different managements in Rio Verde (Goias state, Brazil) 2008.** 139 f. Thesis (Master degree) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

The Savannah biome occupies 20% of the Brazilian territory, approximately, and of their 207 million hectares, 14 are taken by agriculture (grains productions) and 50 for farming (cultivated pastures). In that way, the knowledge of soil organic matter (SOM) dynamics and the soil aggregation with the different uses and agricultural handlings after the conversion of the native system is very important for the socioeconomic development, environmental preservation and the sustainability of the productive systems. Therefore, the objective of this research was to evaluate the alterations of C and N stocks, the aggregation, the SOM fractionation, the origin of C and N ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) - and the microbiological properties of the soil. The study was accomplished in a Oxisol (clayey Red Dystrophic Latosol) with 50-70% of clay in the municipal district of Rio Verde (Goias state, Brazil) ($17^{\circ}39'07''\text{S}$ and $51^{\circ}06'49''\text{W}$). The areas consisted of a native system of Savannah (CE) phytophysionomy (Cerradão), a pasture of low productivity with 20 years (PA -20), a conventional till with 29 years (SPC -29) and four no-till areas with 3 (SPD -3), 7 (SPD -7), 10 (SPD -10) and 15 (SPD -15) years of use. The soil samples from different depths (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm) were collected in July of 2006 (dry seasonal) and February of 2007 (rainy seasonal). The soil C stock, besides having compared among the study areas, its were also compared to the results obtained at the same places in a study accomplished previously, 3 years ago (2004). The C content and stock were higher (0-40 cm) in the areas under CE, SPD-15 and SPD-10 and the bulk soil was lower in relation to the other areas. In the medium period of 3 years (2004 to 2007) there were not statistical differences among the storage of C, while the bulk soil were increased significantly in the areas SPC-29 and SPD-7. The areas under SPD showed medium rate of annual C accumulation in the soil valued to as 1.17 Mg ha^{-1} . Those results suggested that the practice of SPD in the verified areas, preceded by 9 years of cultivation under SPC system, it took approximately ten years for the re-establishment of the C stock similar to the original vegetation (CE). Similar aggregation of the soil was verified in the dry and rainy seasons, with predominance of aggregates $> 2.00 \text{ mm}$ in all areas and soil layers evaluated. In CE and in the PA-20 the largest mean weighed diameters (MWD) and amounts of aggregates were observed $> 2,00\text{mm}$, and the till systems affected negatively that variables. In the different agricultural systems, SPD had the largest values MWD and aggregates $> 2.00 \text{ mm}$ in comparison with SPC-29 in the layer 0-5 cm of soil. In relation to light free fraction from SOM and C and N in the soil aggregates, CE and SPD-15 in comparison to other areas indicated larger values, with intermediate SPD-10 (except N). The C content, mainly in the aggregate class $> 0,25 \text{ mm}$ (layer 0-5 cm of soil), DMP and C stock C (0-20 cm) showed positive correlation. In that way, the observations regarding C and the soil aggregation showed that the preservation and the maintenance of the aggregates class $> 0.25 \text{ mm}$ were fundamental processes to the largest levels of C observed in CE, SPD-10 and SPD-15 systems. The amount of light free fraction verified, responsible component for the maintenance soil aggregates, is in agree with the observed correlation. In the PA-20 area, even with high soil aggregation, probably for the low productivity of the grassy, there was not enough readiness of C (through SOM) for the maintenance of the aggregates classes, resulting in the smallest storage of C in relationship the other areas (except to SPC -29). The same deficiency of SOM happened in the area SPC-29, but in that case due to the rotation of the

soil that accelerated the oxidation of the SOM, because the contribution of cultural residues in the area is similar to SPD, because these use the same cultures succession. The more negative values of $\delta^{13}\text{C}$ observed in CE is due by the higher predominance of plants with C3 photosynthetic cycle. The same significant pattern of enrichment of ^{13}C and $\delta^{15}\text{N}$ happened in the depth of the soil due to the SOM mineralization, with exception of the $\delta^{13}\text{C}$ values in the PA-20 systems, due probably by the gradual substitution of the original SOM in the 20 years of CE transfer to PA-20 systems. The smallest $\delta^{15}\text{N}$ values in CE system can be indicating larger N biological fixation in relation to the pasture. Of the original SOM of CE, 83% was exchange in the PA-20 area and in spite of the high exchange, the lowers productivity of the grassy might have influenced in the smallest C stock in the PA-20 to CE system. Differences were not verified in the values of $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ among the soil aggregates classes in each researched area. The microbial C e N values (C_{mic} and N_{mic}), as well as the relationship with the C e N contents and the $q\text{CO}_2$ were influenced by the seasonal stations, being C e N larger and the $q\text{CO}_2$ smaller at the rainy seasonal. The smaller $q\text{CO}_2$ values in the rainy seasonal reflect the largest efficiency of C immobilization in the microbial biomass. The largest values of C_{mic} and N_{mic} were observed in the PA-20 and the smallest in SPC -29. Those results indicated better conditions to the microbial development in the PA-20 probably due to the grassy cultivation, the animal excretion and the reform of the area (December /2007). The adoption of SPD was an important factor in the C_{mic} and N_{mic} increase in relation to SPC, possibly due to the non soil rotation, the contribution of vegetables residues on the soil surface and- better microbial biomass adapted to the new condition of NT implantation. The C_{mic} and N_{mic} indicated alterations in the new areas implanted in relation to the CE and it pointed larger balance of the microbiota in CE system.

Key words: Carbon, biogeochemistry cycles, stable isotopes, soil organic matter, soil microbiological, land use

1 INTRODUÇÃO

O termo Cerrado é comumente utilizado para designar o conjunto de ecossistemas (savanas, matas, campos e matas de galeria) que ocorrem no Brasil Central (EITEN, 1977; RIBEIRO et al., 1981). Ocupa 24% do território nacional, cobrindo aproximadamente 200 milhões de hectares (Figura 1.1) e possui a segunda maior biodiversidade do planeta (Embrapa, 2005).

A região do Cerrado possui aproximadamente 50 milhões de hectares de pastagens cultivadas e 14 milhões de hectares de culturas anuais (grãos). Contribuindo com 55% da produção nacional de carne e da safra brasileira de soja, milho, arroz e feijão, cultivado tanto sob sistema plantio convencional (SPC) quanto sistema plantio direto (SPD) (Embrapa, 2005).

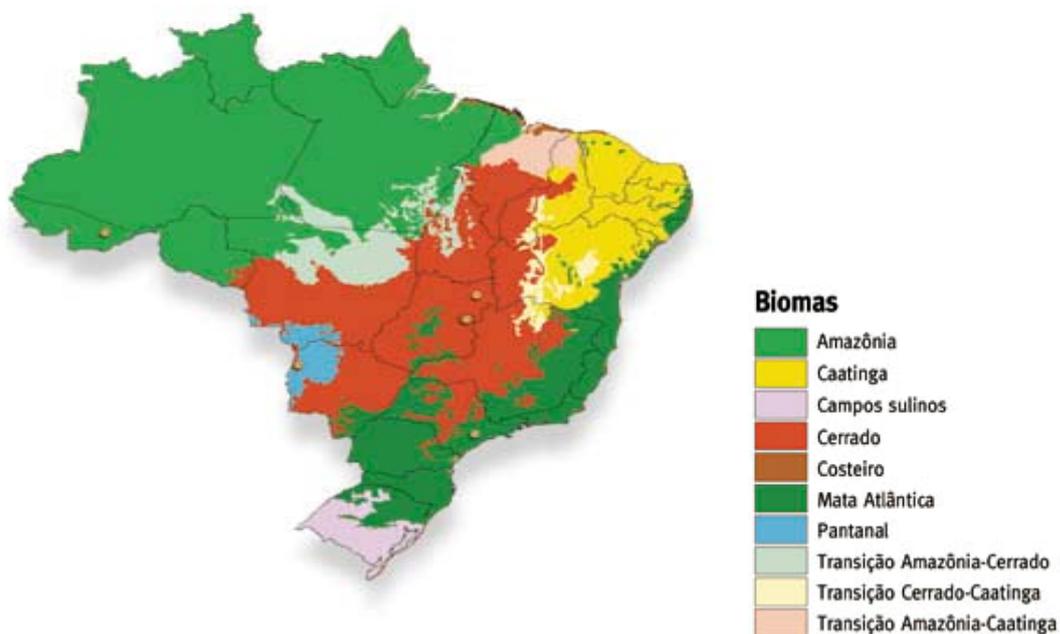


Figura 1.1 - Biomas brasileiros. Fonte: IBGE (2006).

Como importante centro produtor de grãos e carne do Cerrado destaca-se o município de Rio Verde, situada no sudeste do estado de Goiás, que dos seus 8.388 km², ocupa 33% com lavouras anuais (predominantemente soja e milho) e 17% com pastagens.

No ano de 2006, apenas o município de Rio Verde apresentou, respectivamente, 9,4 e 10% da produção de milho e soja, e ainda contava com 1,5% do rebanho bovino, do Estado de Goiás (IBGE, 2006).

A manutenção da produtividade das áreas cultivadas requer o constante aprimoramento das tecnologias envolvidas no modelo produtivo como o melhoramento genético animal e vegetal, aumento da disponibilidade de nutrientes e água, e técnicas de manejo que visam à recuperação do sistema após cada colheita.

O principal indicador da qualidade de um sistema produtivo é a matéria orgânica do solo (MOS), que por sua vez está diretamente relacionada às características químicas, físicas e biológicas do solo. Porém, a atividade que envolve a mudança de uso da terra como exemplo o desmatamento e determinadas práticas agrícolas causam sérios impactos negativos ao ambiente e conseqüentemente a MOS.

A MOS é uma reserva de carbono (C) e nitrogênio (N) e além de promover a estruturação do solo, aumenta a capacidade de acúmulo de água, fornece nutrientes para as plantas e evita a perda de fertilizantes pelo processo de lixiviação.

O corte e queima da vegetação nativa, além de ser um dos principais emissores dos gases do efeito estufa (CO₂, N₂O, NO_x, CH₄, SO_x, entre outros), também alteram a proteção natural do solo, aumentando a susceptibilidade da MOS aos processos de mineralização.

A utilização do sistema plantio convencional (SPC) geralmente resulta em declínio da concentração de MOS, pelo uso indiscriminado de arações, gradagens e escarificações, que estimulam a oxidação da MOS por parte da biomassa microbiana do solo (PAUSTIAN et al., 2000; LAL, 2002).

Em Latossolo vermelho-amarelo em Querência (MT) foi relatado redução de 43% nos teores de MOS (0-15 cm) sob SPC em relação ao solo sob Cerrado nativo após 5 anos de uso (CORRÊA, 2002).

Após 20 anos de cultivo, houve diminuição de aproximadamente 39% do estoque de C na camada 0-30 cm de solo sob SPC ($64,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) em relação ao solo sob vegetação nativa do Cerrado ($96,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) em um Latossolo argiloso (JANTALIA et al., 2006).

As transformações ocorridas no Cerrado trouxeram grandes danos ambientais neste ecossistema, por isto a disseminação de melhores práticas deveria ser uma prioridade, como ocorreu com a introdução da prática do sistema plantio direto (SPD) para a conservação dos solos agrícolas no início dos anos 80. Esta prática rapidamente foi adotada entre os produtores e hoje prevalece nas principais zonas produtoras do Cerrado (RODRIGUES, 2002).

O SPD é considerado um prática agrícola capaz de acumular C e aumentar a sustentabilidade de agroecossistemas em regiões temperadas (LAL et al., 1997) e tropicais (BAYER et al., 2006; METAY et al., 2007).

O fato do solo não ser preparado através das operações convencionais (aração e gradagem) e ter sua estrutura preservada, faz com que o SPD proporcione uma série de melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como o aumento dos níveis de MOS e agregação (SALTON, 2005; BAYER et al., 2006; METAY et al., 2007; MARCHÃO, 2007;).

Metay et al. (2007) avaliando diferentes sistemas de manejo em Latossolo no Cerrado em Goiânia (GO) verificaram maior estoque de C no solo (0-20 cm) sob SPD ($22,29 \text{ Mg C ha}^{-1}$) em relação ao SPC ($19,94 \text{ Mg C ha}^{-1}$) com 11 e 24 anos de implantação, respectivamente. Os autores ainda relataram que o acúmulo anual de C no SPD foi de $0,35 \text{ Mg C ha}^{-1}$.

O acúmulo de C em Latossolo vermelho do Cerrado também foi relatado por Bayer et al. (2006), que encontraram maior estoque de C (0-20 cm) sob SPD com 5 anos de implantação (57,3 Mg C ha⁻¹) em relação ao solo sob vegetação nativa (54,0 Mg C ha⁻¹) e sob SPC (54,3 Mg C ha⁻¹). Os pesquisadores observaram taxa de 0,36 Mg C ha⁻¹ acumulado anualmente sob o SPD.

Em relação ao solo sob vegetação nativa do Cerrado, a perda de C foi na ordem de 8,3 Mg ha⁻¹ em SPC (12 anos), enquanto que sob SPD (15 anos) o ganho foi de 21,4 Mg ha⁻¹, perfazendo uma taxa anual de acúmulo de C de 1,43 Mg ha⁻¹ (CORAZZA et al., 1999).

Áreas sob pastagem quando bem manejadas também podem trazer benefícios ao solo e ao ambiente. As gramíneas do gênero braquiária são as principais espécies de pastagem cultivada na região Centro-Oeste do Brasil, devido à sua adaptabilidade às condições edafoclimáticas e grande produção de fitomassa (KLUTHCOUSKI et al., 2003).

E assim como o SPD, a pastagem possui elevada capacidade de acúmulo de MOS pelo não revolvimento do solo, grande produção de biomassa vegetal na superfície do solo e principalmente pela intensa renovação do sistema radicular abundante e permanente (SALTON, 2005).

Roscoe et al. (2001) não observaram diferenças significativas no estoque da MOS ao comparar a vegetação natural (Cerrado) e uma pastagem (*Brachiaria spp.*) implantada há 23 anos em um Latossolo muito argiloso (88%) em Minas Gerais. Os autores atribuíram estes resultados à elevada produção de resíduos da pastagem e a proteção da MOS proporcionada pelo elevado teor de argila.

O acúmulo de C no solo em áreas sob pastagens pode não ser verificado devido a limitações à produtividade das plantas, que ocorre nas áreas degradadas. Lilienfein et al (2003) ao compararem pastagens de *Brachiaria decumbens* verificaram que os

teores de C no solo (0 a 15 cm) foram maiores em pastagem de alta em relação a de baixa produtividade, com 27 e 22 g kg⁻¹, respectivamente.

A dinâmica da MOS nos agroecossistemas está associada à sua proteção física no interior de agregados do solo (LAL; BRONICK, 2005), resultado da interação das frações mineral e orgânica do solo, que conjuntamente promovem o acúmulo de MOS (SIX et al., 2002; BAYER et al., 2006).

A relação entre agregados e MOS tem sido foco de muitas pesquisas em ecossistemas por estar associada às principais questões referentes aos sistemas de manejo e seus efeitos no solo (SIX et al., 2000; 2002; CASTRO-FILHO et al., 2002; JIAO et al., 2006; DENEFF et al., 2007; ZOTARELLI et al., 2007; OWEREMADU et al., 2007).

A agregação do solo resulta de um arranjo das partículas, decorrente de processos de floculação e cimentação (DUIKER et al., 2003). Com relação ao tamanho, os agregados podem ser divididos em macroagregados (> 0,25 mm) e microagregados (< 0,25 mm) (TISDALL; OADES, 1982).

Os macroagregados são menos estáveis que os microagregados (CAMBARDELLA; ELLIOT, 1993), principalmente quando combinado a processos que favoreçam a ruptura de agregados e o aumento na taxa de oxidação da MOS (Figura 1.2).

De acordo com Six et al. (2000) o acúmulo de C sob SPD é atribuído não somente a maior quantidade de C em macroagregados (> 0,25 mm), mas efetivamente pela maior manutenção dessa classe de agregado através do não revolvimento e da permanência de resíduos culturais em superfície, que são decompostos mais lentamente comparados ao SPC.

Six et al. (1999) relataram que a matéria orgânica particulada (não protegida em agregados), incluindo a fração leve livre, é freqüentemente influenciada pelo aporte de resíduos vegetais, enquanto o C nos agregados do solo pelo sistema de manejo. Como o SPD e o SPC geralmente possuem a mesma entrada de resíduos vegetais (mesma sucessão/rotação

de culturas), a diferença nos estoques de C pode ser atribuída às práticas agrícolas que estaria aumentando ou diminuindo a quantidade de agregados > 0,25 mm.

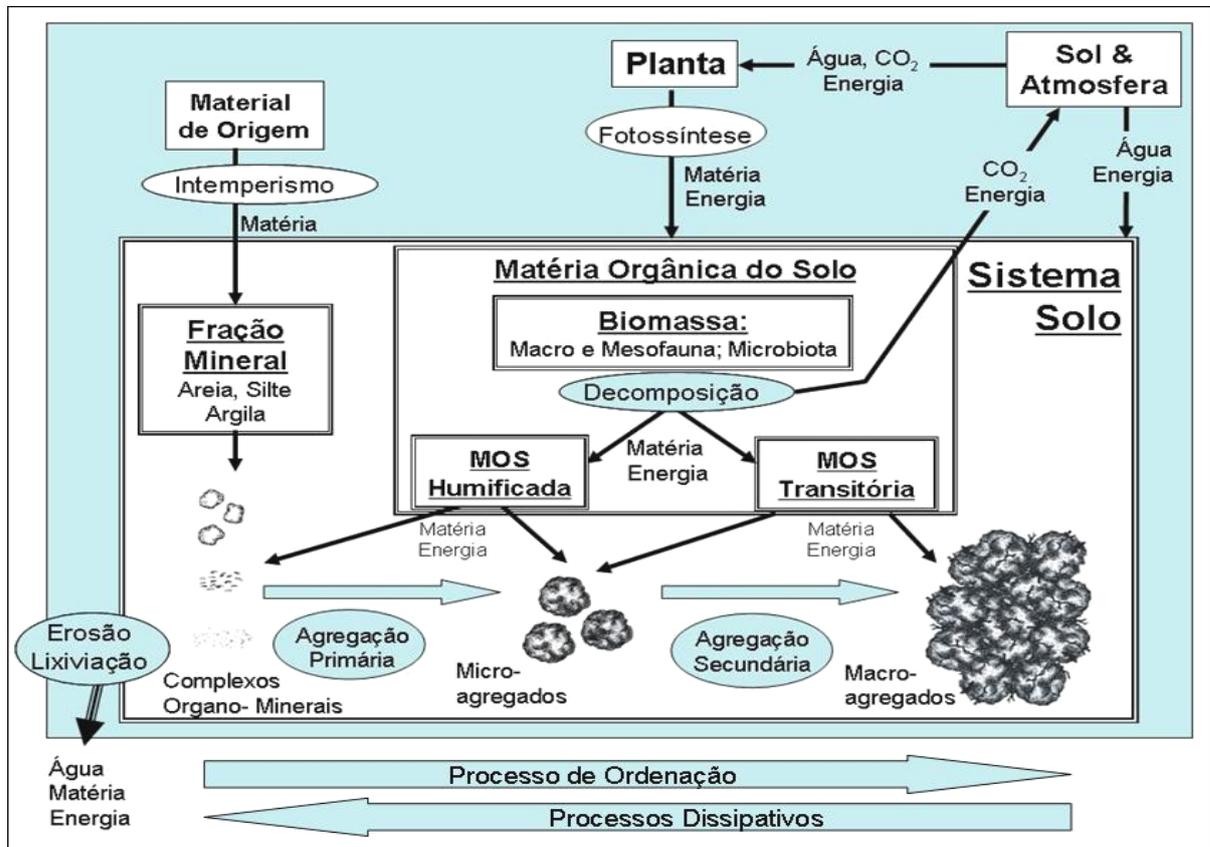


Figura 1.2 Representação esquemática do processo de ordenação do solo, destacando os principais fluxos de energia e matéria. Fonte: Roscoe (2005).

Em regiões temperadas o acúmulo de C no solo é frequentemente acompanhado do aumento da agregação (SIX et al., 1999; JIAO et al., 2006). Em solos tropicais (geralmente ricos em óxidos de Fe e Al) esse comportamento não existiria devido aos óxidos serem os principais agentes de estabilização dos agregados do solo, que inibiria a contribuição da MOS nessa estabilização (TISDALL; OADES, 1982).

Trabalhos científicos atuais mostraram associações entre agregação do solo e quantidade de C em solos com elevada quantidade de óxidos no Brasil. Esses trabalhos estão concentrados na região sul/sudeste (LIGO, 2003; DENEFF et al., 2004; PINHEIRO et al., 2004; MADARI et al., 2005; ZOTARELLI et al., 2007), com menor

intensidade no Cerrado (CAMPOS et al., 1995; WESTERHOF et al., 1999; CORRÊA, 2002, SALTON, 2005).

Denef et al. (2004) observaram maiores teores de C em macroagregados (>0,25 mm) sob SPD comparado ao SPC em Latossolo no sul do Brasil, indicando que o não revolvimento do solo e o aporte de resíduos culturais influenciam na quantidade da MOS.

Mudanças na estrutura de um Latossolo na região do Cerrado em Uberlândia (MG) foi descrito por Westerhof et al. (1999), que devido ao revolvimento sistemático do solo sob SPC, foram rompidos os agregados > 2,00 mm com subsequente perda de MOS em comparação ao solo sob vegetação nativa.

Como a agregação determina as unidades estruturais do solo e considerando sua importância vários processos funcionais no solo (i.e.a dinâmica da MOS, dinâmica da água, aeração, entre outros) a avaliação desta variável torna-se ferramenta útil na composição de indicadores da qualidade do solo sob diferentes manejos (LIGO, 2003).

Assim, a abundância de agregados > 0,25 mm sugere uma maior proteção do C contra a decomposição microbiana e sua quantidade, podem ser usadas como medida relativa na estabilidade de agregados em diferentes sistemas de manejo e uso do solo (SIX et al., 2000).

Do mesmo modo que o C, mais de 90% do N no solo está ligado à fração orgânica que são extremamente relevantes nos estudos de MOS. As formas inorgânicas do N (amônio e nitrato) também têm grande importância na dinâmica deste elemento no solo por serem as principais formas absorvidas pelas plantas (D'ANDRÉA et al., 2004). Porém, geralmente não são verificadas diferenças nos estoques de N em solo submetido aos diferentes usos e manejo.

D'andréa et al. (2004) em Morrinhos (GO) e Miranda (2007) em Sorriso (MT), pesquisando sobre o efeito de diferentes sistemas de manejo do solo não detectaram diferenças entre um SPD, SPC e pastagem em relação ao estoque de N.

Outras ferramentas que são consideradas capazes de acompanhar a dinâmica da MOS é a composição isotópica de C ($\delta^{13}\text{C}$) e N ($\delta^{15}\text{N}$) da MOS (PICCOLO et al., 1996; BALESIDENT; MARIOTTI, 1996; BERNOUX et al., 1998; ROSCOE et al., 2001; NARDOTO, 2005; MIRANDA, 2007) e as alterações no C e N da biomassa microbiana (CERRI et al., 1985; COSER et al., 2007; FIGUEIREDO et al., 2007).

A composição isotópica do C ($\delta^{13}\text{C}$) pode ser usada como traçador natural da MOS devido ao fracionamento isotópico específico de plantas do ciclo fotossintético C_3 ou C_4 , sendo possível determinar a origem da MOS. Enquanto a variação natural do $\delta^{15}\text{N}$ em solos reflete tanto a fonte como o fracionamento do N durante suas transformações no solo. Na maioria dos ecossistemas o N da MOS é enriquecido em ^{15}N , em comparação ao N_2 atmosférico (KARAMANOS et al., 1981). O fracionamento durante os processos de nitrificação e denitrificação altera a abundância natural do ^{15}N no solo, resultando em valores mais elevados na MOS em estado mais avançado de mineralização (NADELHOFFER; FRY, 1988).

A biomassa microbiana do solo (BMS) é definida como a parte viva da MOS, composta por todos os microrganismos menores que 5×10^{-3} mm, como fungos, bactérias e actinomicetos. A BMS é um componente lábil da fração orgânica do solo e representa de 1 a 4% do C orgânico total do solo (Corg) e mais de 5% do N total do solo (JENKINSON; POLWILSON, 1976).

As estimativas de C e N da BMS (C_{mic} e N_{mic}) são propriedades sensíveis para quantificar as mudanças no manejo do solo (CARTER; RENNIE, 1982). Em geral, a quantidade da BMS é regulada pela disponibilidade de nutrientes, pela capacidade de proteção do solo (estrutura e estabilidade dos agregados), além dos fatores climáticos (BONDE et al., 1988).

Com as estimativas do C_{mic} e N_{mic} torna-se possível conhecer as relações $C_{mic}:C_{total}$ e $N_{mic}:N_{total}$, que fornecem indícios sobre a qualidade, quantidade e a estrutura da comunidade microbiana do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1980; CAMPBELL et al., 1991; WARDLE, 1992; MOORE et al., 2000).

A respiração basal do solo e o coeficiente metabólico (qCO_2) também podem ser empregados como indicadores para avaliar as mudanças no ambiente e no monitoramento da mudança do uso da terra (ANDERSON, 2003), podendo-se obter conclusões mais abrangentes sobre a sustentabilidade de agroecossistemas (CERRI et al., 1985).

Apesar do crescente interesse nos aspectos biológicos do solo sob sistemas naturais e agrícolas, estudos sobre o impacto de diferentes sistemas de manejo na biomassa e sua atividade em solos do bioma Cerrado ainda são recentes (MATSUOKA et al., 2003; PEREZ et al., 2005; XAVIER et al., 2006; COSER et al., 2007; FIGUEIREDO et al., 2007).

Nesse contexto a importância da MOS torna-se evidente quando se busca uma visão mais integrada do sistema solo, principalmente em ambientes tropicais. A MOS é a responsável por regular a atividade biológica e, com isso, a expressão de propriedades importantes para o funcionamento adequado do sistema solo. Entender a dinâmica da MOS nesses sistemas possibilita gerar alternativas de manejo mais apropriadas para a exploração do Cerrado.

Devido à importância sócio-econômica e ambiental associado a extensa área utilizada pela agricultura nos solos da região do Cerrado, o presente trabalho de pesquisa pretende contribuir com o conhecimento das influências das práticas de manejo e uso do solo na dinâmica da MOS.

A presente pesquisa tem como hipóteses: 1) o SPD apresenta maiores estoques e teores microbianos de C e N, atividade microbiana e agregação do solo comparado ao SPC e a pastagem com baixa produtividade, sendo esses aspectos mais evidentes com o tempo de

implantação do SPD; 2) A pastagem, devido à baixa produtividade, apresenta estoque de C do solo inferior ao do Cerrado, porém com alta porcentagem de C proveniente da gramínea pelo longo tempo de utilização desse sistema (20 anos).

OBJETIVO GERAL

Avaliar o comportamento de diferentes sistemas de manejo e uso do solo sobre a MOS e agregação do solo na região de Rio Verde (GO).

Objetivos específicos:

- 1) Acompanhar o efeito do SPD, SPC e pastagem nos estoques de C e N, na agregação e nas propriedades microbiológicas do solo, em relação ao sistema natural.
- 2) Relacionar as alterações na agregação do solo com os estoques de C e N.
- 3) Avaliar a dinâmica do C e N no Cerrado e na pastagem com o auxílio de técnicas isotópicas.

APRESENTAÇÃO

Para a apresentação desta dissertação, seu conteúdo foi dividido em introdução, seguido de quatro partes e conclusão geral.

A parte 1, denominada **ESTOQUES DE C NO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS AGRÍCOLA NO CERRADO EM RIO VERDE (GO)**, teve como objetivo avaliar a mudança no estoque de C do solo em um sistema nativo - Cerrado (CE), uma pastagem de baixa produtividade (20 anos), uma área sob SPC (29 anos) e quatro áreas sob SPD (3, 7, 10 e 15 anos) em Rio Verde (GO). O efeito temporal das práticas agrícolas também foram avaliados no período de 3 anos (ano de 2004). Também se teve como meta estimar a taxa de acúmulo de C no solo sob SPD.

A parte 2 tem como título **EFEITO DE SISTEMAS DE MANEJO AGRÍCOLA NOS ESTOQUES DE C E N E NA AGREGAÇÃO DO SOLO EM RIO VERDE (GO)**. E apresenta os resultados do efeito dos manejos do solo (exceto SPD-3 e SPD-7) nos estoques de C e N (0-20 cm) e na agregação de um Latossolo vermelho no Cerrado, em Rio Verde (GO). Correlações entre os índices de agregação e os teores de C nas classes de agregados do solo foram realizadas.

Com objetivo de melhor entender a dinâmica da MOS na utilização de pastagem em área de Cerrado, a parte 3 foi denominada de **CONCENTRAÇÕES ELEMENTAR E ISOTÓPICA C ($\delta^{13}\text{C}$) E N ($\delta^{15}\text{N}$) DO SOLO SOB CERRADO E PASTAGEM, EM RIO VERDE (GO)**. Neste tópico os teores e estoques de C e N, as abundâncias naturais de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, a agregação do solo sob condições naturais e sob pastagem (*Brachiaria decumbens*) cultivada há 20 anos precedida de 9 anos sob SPC de arroz, no município de Rio Verde (GO).

A quarta e última parte, **CARBONO, NITROGÊNIO E ATIVIDADE DA BIOMASSA MICROBIANA EM LATOSSOLO DO CERRADO SUBMETIDO A**

DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO, EM RIO VERDE (GO), trata das estimativas do C e N microbiano, da respiração basal e coeficiente metabólico (qCO_2) em solos sob Cerrado, sistemas agrícolas e pastagem.

2 ESTOQUES DE C NO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS AGRÍCOLA NO CERRADO EM RIO VERDE (GO)

RESUMO

Uma área de aproximadamente 64 milhões de hectares do Cerrado brasileiro é utilizada para a agricultura com culturas anuais e pastagens, tornando-se de extrema importância o conhecimento das mudanças dos estoques de C do solo influenciados pelos sistemas de cultivo. O objetivo do estudo foi avaliar a mudança no estoque de C do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo. As áreas consistiram em um sistema nativo - Cerrado (CE), uma pastagem de baixa produtividade com 20 anos de uso (PA-20), um sistema plantio convencional com 29 anos de uso (SPC-29) e quatro sistemas plantio direto com 3 (SPD-3), 7 (SPD-7), 10 (SPD-10), e 15 (SPD-15) anos de implantação. O estudo foi conduzido em um Latossolo vermelho distrófico de textura argilosa (50-70% de argila) em Rio Verde, Estado de Goiás (17°39'07''S e 51°06'49''O). Foram coletadas amostras de solo nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm com seis repetições em fevereiro de 2007 (época chuvosa). As variáveis avaliadas foram a densidade e os teores de C total do solo, os quais foram empregados na determinação dos estoques de C do solo (0-40 cm), sendo corrigidos pela massa fixa de solo (4000 Mg ha⁻¹). Os estoques de C foram comparados entre as áreas de estudo e em relação ao efeito das práticas agrícolas nos diferentes sistemas em um período médio de 3 anos (nos anos de 2004 e 2007). Em cada ano de coleta (2004 e 2007) os valores de densidade foram menores no CE e no SPD-15, e os estoques de C foram mais elevados no CE, SPD-10 e SPD-15. Após 3 anos de uso destes sistemas, aumentos dos valores de densidade do solo foram observados no SPD-7 e SPC-29 enquanto que nos estoques de C não foram verificadas diferenças nas áreas de estudo. Esses resultados sugeriram que o maior tempo de implantação do SPD associado ao elevado teor de argila no solo, influenciaram positivamente o acúmulo de C no solo. A consideração individual das áreas sob SPD avaliadas no período de três anos indicou taxa média de acúmulo de C anual estimada em 1,17 Mg ha⁻¹ (0-40 cm) estando de acordo com os resultados disponíveis na literatura. Com os resultados obtidos conclui-se que a PA-20 pela baixa produtividade e o cultivo sob SPC por 29 anos resultou em menores estoques de C e maiores valores de densidade do solo. A adoção do SPD nessa região do Cerrado, em solo cultivado anteriormente por 9 anos sob SPC, levou ao restabelecimento do estoque de C e densidade do solo (0-40 cm) semelhante ao do Cerrado original em ao menos, 10 anos e 15 anos, respectivamente. Considerando a extensa área do Cerrado com potencial para a agricultura, os resultados desse trabalho de pesquisa indicaram que essas áreas podem contribuir efetivamente no acúmulo de C no solo.

Palavras-chave: Cerrado, matéria orgânica do solo, sistemas de plantio

2 CARBON STOCKS IN DIFFERENT SOIL MANAGERMENTS IN THE BRAZILIAN SAVANNA IN RIO VERDE (GOIÁS STATE, BRAZIL)

ABSTRACT

An area of approximately 64 million hectares of the Brazilian Savannah is used for the agriculture with annual cultures and pastures, becoming of extreme importance the knowledge of the changes of the C stocks of the soil influenced by the cultivation systems. The objective of the study was to evaluate the C dynamics in the soil in a native system - Savannah (CE), a pasture of low productivity with 20 years of use (PA -20), a conventional till with 29 years of use (SPC -29) and four no-till area with 3 (SPD -3), 7 (SPD -7), 10 (SPD -10), and 15 (SPD -15) years of implantation. The study was carry out in a Oxisol (clayey Red Dystrophic Latosol) with 50-70% of clay in Rio Verde (Goias state, Brazil) (17°39'07''S e 51°06'49''W). Soil samples were collected in the layers 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm with six repetitions in February of 2007 (rainy seasonal). The appraised variables were the soil bulk density, contents of total soil C, and determine the soil C stock (0-40 cm), being it corrected by the mass of soil (4000 Mg ha⁻¹). The soil C stock was compared among the study areas and in relation to the effect of the agricultural practices in the different systems in a medium period of 3 years (2004 to 2007). In every year of collection (2004 to 2007) the soil bulk density values were smaller in CE and in SPD-15 systems, and the soil C stock were higher in CE, SPD-10 and SPD -15. After 3 years, increases of the soil bulk density values were observed in SPD-7 and SPC-29 while the soil C stock no differences were verified in the study areas. Those results suggested the influence of large time of SPD implantation, associated to the high clay content in the soil, on the C accumulation in the soil. In the SPD areas appraised in the three years period, the medium tax of annual C accumulation was 1.17 Mg ha⁻¹ (0-40 cm) being in agreement with the available results in the literature. With the obtained results is possible ended that the PA-20 for the low productivity and the cultivation under SPC for 29 years resulted in smaller C stock and larger values of soil bulk density. The adoption of SPD system in Savannah area, in cultivated soil previously by 9 years under SPC, it took to the re-establishment of the C stock and soil bulk density level (0-40 cm) similar to the original Savannah in at least, 10 years and 15 years, respectively. Considering the extensive area of the Savannah with potential for the agriculture, the results of that research work indicated that those areas can contribute indeed in the accumulation of C in the soil.

Key words: Savannah, soil organic matter, land use

1 INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS), composta basicamente de C e N, é o principal indicador da qualidade de um sistema, já que está diretamente relacionada às características químicas, físicas e biológicas do solo.

Em solos com cobertura vegetal natural o C encontra-se em equilíbrio dinâmico (entrada=saída), com quantidades praticamente constantes com o tempo. Essa condição é alterada quando o solo é submetido ao cultivo, atingindo, dessa forma, um novo estado de equilíbrio, que varia de acordo com o sistema de manejo adotado (STEVENSON, 1994).

O tipo de solo tem influência direta nos estoques de C, sendo que solos argilosos podem proporcionar elevada estabilidade física da MOS independente do sistema de manejo utilizado, quando comparados a solos arenosos em regiões tropicais e subtropicais (FELLER; BEARE, 1997; BALESIDENT et al., 2000; ROSCOE; BUURMAN, 2003).

A utilização do sistema plantio convencional (SPC) de cultivo devido ao intenso revolvimento do solo e eliminação da cobertura vegetal da superfície, conduz a um aumento da temperatura e aeração do solo associado ao rompimento dos agregados do solo; fatores que podem estimular a atividade biológica com conseqüentemente aumento da taxa de decomposição da MOS (JANTALIA et al., 2006; CORAZZA et al., 1999).

Silva et al. (1994) em pesquisa realizada em Latossolo vermelho na Bahia, relataram decréscimo de 41 a 80% do estoque de C do solo em áreas sob SPC com 5 anos de uso em relação ao Cerrado nativo, atribuindo o fato ao revolvimento do solo pela maior oxidação da MOS. Em Latossolo vermelho-amarelo em Querência (MT) a redução no teor de MOS foi semelhante a anterior, de 43% sob SPC (5 anos de uso) em relação ao solo sob Cerrado nativo (Corrêa, 2002).

Por outro lado, existem sistemas específicos que quando bem manejados podem aumentar à quantidade de C do solo, conduzindo até mesmo a manutenção do estoque inicial (SILVA, 1997), como exemplo a pastagem introduzida após o desmatamento da floresta na Amazônia (CERRI et al., 2003; FUJISAKA et al., 1998) e do Cerrado (ROSCOE et al., 2001). E o sistema plantio direto (SPD) no Cerrado (LEITE et al., 2004; BAYER et al., 2006; METAY et al., 2007) e no sul do Brasil (SÁ et al., 2001; SISTI et al., 2004; BAYER et al., 2004).

No caso da pastagem a possibilidade de aumento de C no solo é favorecida pelo sistema radicular da gramínea que, além de abundante e volumoso, apresenta contínua renovação, fatores que disponibilizam grande quantidade de matéria orgânica ao solo (LAL, 2002; SALTON, 2005).

Fujisaka et al. (1998) observaram uma redução de 80% no estoque de C com a transformação de floresta para pastagem em estudos realizados em Rondônia, explicando que tal redução geralmente ocorre nos primeiros anos após a instalação da pastagem. E geralmente após 20 anos em pastagens bem manejadas o conteúdo de C no solo tende a ser similar ou superior ao de solos sob floresta.

Roscoe et al. (2001) não observaram diferenças significativas no estoque de C ao comparar a vegetação natural (Cerrado) e uma pastagem de *Brachiaria spp.* com 23 anos de implantação em um Latossolo argiloso de Minas Gerais. E atribuíram estes resultados à elevada produção de resíduos da pastagem e a proteção da MOS proporcionada pelo elevado teor de argila (88%).

No SPD a recuperação dos estoques de C em relação ao sistema natural se deve a rotação de culturas, não revolvimento do solo e superfície do solo com os resíduos vegetais. Esses fatores basicamente levam o SPD a alcançar a sustentabilidade da agricultura com

redução dos impactos ambientais, como a mitigação do dióxido de carbono e aumento do C no solo.

Muitas pesquisas relataram acúmulo de C no solo sob SPD, porém com uma taxa ampla de variação devida principalmente ao clima, tipo de solo e rotação/sucessão de culturas utilizadas (BAYER et al., 2006; MIRANDA, 2007; DIEKOW et al., 2005; LOVATO, et al., 2004; PERRIN, 2003).

No sul do Brasil (Paraná), aumento de 19 Mg ha^{-1} de C em Latossolo (0-40 cm) foi observado após 22 anos de cultivos de grãos sob SPD em comparação ao SPC (SÁ et al., 2001). Sisti et al. (2004) encontraram acréscimos de até $9,4 \text{ Mg C ha}^{-1}$ em Latossolo (0-30 cm) sob 13 anos de cultivo (grãos incluindo leguminosas de inverno como adubo verde) em SPD em comparação ao SPC no Rio Grande do Sul.

O acúmulo de MOS em Latossolos da Região do Cerrado sob SPD foi verificado por Corazza et al. (1999). Os autores relataram em relação ao solo sob sistema nativo, perda de $8,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ em área sob SPC com 12 anos de uso. Enquanto após 15 anos de cultivo sob SPD, uma área indicou aumento de $21,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C, correspondendo a uma taxa anual de acúmulo de C no solo de $1,43 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Avaliando o efeito de sistemas de manejo do solo no acúmulo de C em Latossolo vermelho do Cerrado, Bayer et al. (2006) encontraram estoque de C (0-20 cm) superior em um SPD com 5 anos de implantação ($57,30 \text{ Mg ha}^{-1}$), em relação ao solo sob CE e um SPC (respectivamente $54,00$ e $54,30 \text{ Mg ha}^{-1}$). Os pesquisadores observaram taxa de $0,36 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C acumulado anualmente sob SPD.

Considerando que 64 milhões de hectares da área sob Cerrado são utilizados pelas práticas agrícolas descritas acima, tornam-se evidentes as pesquisas sobre o SPD, SPC e pastagens nessa região.

O objetivo do estudo foi avaliar a mudança no estoque de C do solo em áreas sob pastagem, SPC e SPD (diferentes idades) em Rio Verde (GO) tomando-se como referência o

Cerrado nativo. O efeito temporal das práticas agrícolas também foram avaliados, comparando-se os resultados aos obtidos em estudo anterior nos mesmos locais há 3 anos (ano de 2004). Também foi estimado a taxa de acúmulo de C no solo sob SPD.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização e descrição da área de estudo

Esta pesquisa foi realizada no município de Rio Verde-GO (51°43' a 50°19' O e 17°50' a 18°20' S) em fevereiro de 2007 (Figura 2.1). A vegetação original da região é predominantemente arbórea com fitofisionomia de Cerradão e Mata seca subcaducifólia (EITEN, 1983).



Figura 2.1 Localização gráfica das áreas de estudo em Rio Verde (GO).

O clima da região é do tipo Aw (Köppen) – Tropical, com chuvas concentradas no verão e um período seco bem definido durante a estação de inverno, quando ocorre na região um moderado déficit hídrico. A média anual da precipitação pluviométrica é de aproximadamente 1500 a 1800 mm ano⁻¹ e a média anual da temperatura do ar é de 23°C (Figura 2.2). O solo avaliado foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 2006).

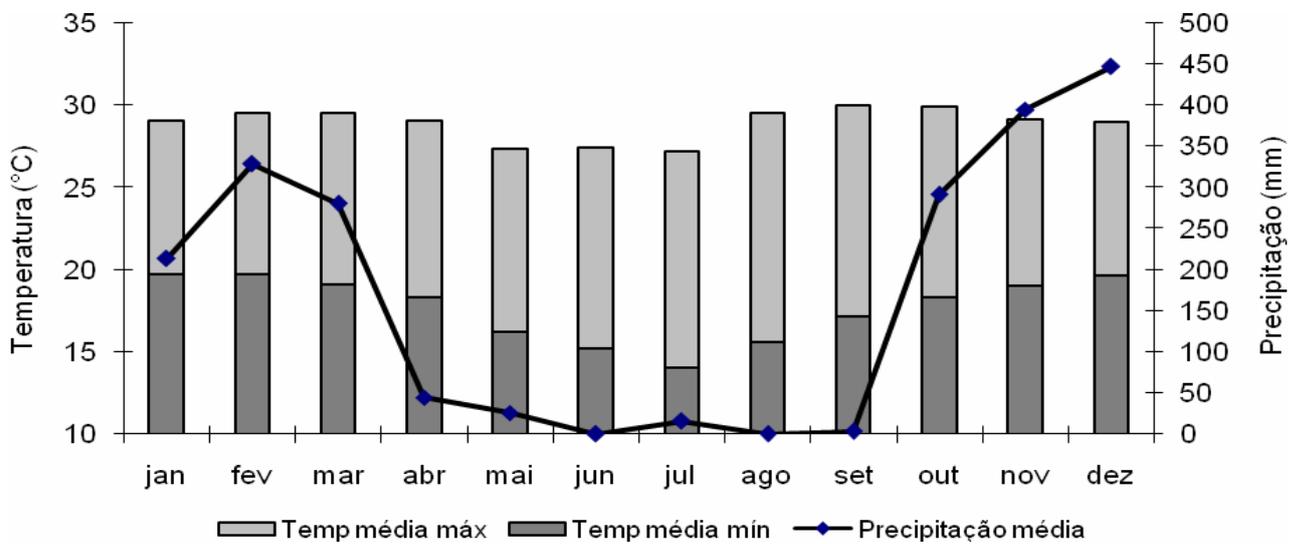


Figura 2.2 – Temperatura ambiente e precipitação média no município de Rio Verde (GO) no período compreendido entre os anos de 2004 e 2007.

2.2.2 Escolha e caracterização das áreas de estudo

Para este estudo foi realizada uma seleção preliminar das áreas, que permitiu reunir informações sobre históricos de uso da terra com o auxílio de questionários aplicados aos agricultores. Na região ocorre o predomínio do cultivo do solo sob SPC e SPD, tendo a soja (*Glycine Max* [L.] Merr.) como cultura principal seguido de milho, e ainda a utilização do sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) ou milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) como cultivo safrinha. Foram selecionadas áreas com os teores de argila+silte entre 50-70% (tabela 2.1), uma vez que nessa faixa a variação dos estoques de C deixaram de

ser influenciados pela textura, passando a ser o manejo passou a ser o principal interferente (SIQUEIRA NETO, 2006).

Dessa maneira foram selecionadas sete áreas compreendidas em: uma sob Cerrado nativo, uma pastagem, uma sob SPD e quatro sob SPD. A localização geográfica e o histórico das áreas avaliadas estão apresentados na Tabela 2.1.

A adubação nas áreas para a cultura da soja foi de 450 kg ha⁻¹ de 02-20-18 e cobertura de 100 kg ha⁻¹ de KCl na área total. Para o milho ou sorgo foram utilizados 550 kg ha⁻¹ de 8-20-20 com 200 kg ha⁻¹ de uréia em cobertura. Nas áreas onde o milheto foi cultivado, não foram realizadas a adubação, uma vez que a cultura foi empregada como cobertura do solo.

A granulometria e a caracterização física e química das áreas estão apresentadas na Tabela 2.2.

Os valores do pH (em água) do solo apresentaram, de maneira geral, menor valor no CE (característico de Latossolos de Cerrado) e mesmo comportamento na pastagem, com valores crescentes no perfil do solo, devido possivelmente a decomposição dos resíduos vegetais na superfície com liberação de H⁺ (SEEBER et al., 2006).

Tabela 2.1 - Localização geográfica e históricos das áreas de estudo em Rio Verde (GO).

| Áreas ¹ | Propriedade (Fazenda) | Latitude (S) | Longitude (O) | Histórico da área |
|--------------------|-----------------------|--------------|---------------|--|
| CE | Alvorada | 17°39'07" | 51°02'49" | Cerrado - estrato arbóreo semidecíduo com altura entre 15 a 25 metros (utilizada como referência) |
| PA-20 | Alvorada | 17°38'58" | 51°03'57" | 1978-1987 - SPC (arroz ²) 1987-2007 - Pastagem ³ |
| SPC-29 | Barra Grande | 17°41'36" | 51°10'56" | 1978-1980 - SPC (arroz) 1980-2007 - SPC (soja ⁴ /milho ⁵ e milheto ⁶) 1994 - 1996 - SPC (arroz) 1993 - 1995 - SPC (arroz) |
| SPD-3 | Rio Verdinho | 17°36'50" | 51°08'31" | 1995-1997 - pousio 1997-2004 - SPC (soja/milho) 2004 - 2007 - SPD (soja/milho) |
| SPD-7 | Rio Verdinho | 17°36'57" | 51°08'27" | 1987 - 1989 - SPC (arroz) 1989-2000 - SPC (soja/milho) 2000 - 2007 - SPD (soja/milho) |
| SPD-10 | Alvorada | 17°39'00" | 51°03'28" | 1987 - 1984 - SPC (arroz) 1984 - 1992 - SPC (soja/milho) 1992-2007 - SPD (soja/milho ou milheto) |
| SPD-15 | Dois J-1 | 17°20'12" | 51°15'03" | 1977-1982 - Pastagem 1982 - 1984 - SPC (arroz) 1984 - 1992 - SPC (soja/milho) 1992-2007 - SPD (soja/milho ou milheto) |

¹CE: Cerrado nativo; PA-20: pastagem com 20 anos de implantação; SPC-29: sistema plantio direto com 29 anos de implantação; SPD-3, SPD-7, SPD-10 e SPD-15: sistema plantio direto com, respectivamente, 3, 7, 10 e 15 anos de implantação. ² *Oryza sativa* L. ³ *Brachiaria decumbens* ⁴ *Glycine max* [L.] Merr. ⁵ *Zea mays* ⁶ *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. - utilizado na safrinha.

Tabela 2.2 - Características físicas e químicas do solo das áreas de estudo em Rio Verde (GO). Os valores representam a média (n=3).

| Área | Argila g kg ⁻¹ | pH H ₂ O | P mg dm ⁻³ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ mmol _c dm ⁻³ | Al ³⁺ + | CTC | SB |
|-----------------|------------------------------|------------------------|--------------------------|----------------|------------------|--|--------------------|-------|-------|
| 0-5 cm | | | | | | | | | |
| CE | 461 | 4,66 | 9,67 | 1,47 | 1,00 | 4,00 | 79 | 85,47 | 6,47 |
| PA-20 | 627 | 5,97 | 15,00 | 1,17 | 10,67 | 13,00 | 29,99 | 54,83 | 24,84 |
| SPC-29 | 612 | 5,55 | 17,00 | 3,50 | 10,00 | 2,33 | 39,84 | 55,67 | 25,83 |
| SPD-3 | 489 | 6,04 | 40,33 | 3,20 | 20,00 | 16,00 | 26,27 | 65,47 | 39,20 |
| SPD-7 | 559 | 5,92 | 35,00 | 3,60 | 19,67 | 13,00 | 24,33 | 60,60 | 36,27 |
| SPD-10 | 628 | 6,05 | 14,00 | 3,40 | 20,00 | 16,33 | 23,14 | 62,87 | 39,73 |
| SPD-15 | 625 | 6,09 | 28,33 | 2,45 | 24,50 | 9,00 | 21,35 | 57,30 | 35,95 |
| 5-10 cm | | | | | | | | | |
| CE | 488 | 4,70 | 5,67 | 0,87 | 1,00 | 1,67 | 80,65 | 84,20 | 3,54 |
| PA-20 | 643 | 6,00 | 4,00 | 0,93 | 13,33 | 10,33 | 31,01 | 55,60 | 24,59 |
| SPC-29 | 619 | 5,54 | 13,33 | 1,83 | 11,33 | 3,00 | 39,34 | 55,50 | 16,16 |
| SPD-3 | 505 | 5,89 | 48,00 | 2,97 | 14,67 | 9,33 | 31,00 | 57,97 | 26,97 |
| SPD-7 | 586 | 5,72 | 25,67 | 2,20 | 12,33 | 5,67 | 35,67 | 55,87 | 20,20 |
| SPD-10 | 664 | 5,87 | 10,00 | 1,63 | 10,33 | 8,67 | 49,50 | 70,13 | 20,63 |
| SPD-15 | 641 | 5,93 | 27,67 | 1,50 | 12,50 | 5,50 | 32,00 | 51,50 | 19,50 |
| 10-20 cm | | | | | | | | | |
| CE | 510 | 4,81 | 5,00 | 0,80 | 1,00 | 1,00 | 77,33 | 80,13 | 2,80 |
| PA-20 | 654 | 6,08 | 6,00 | 0,47 | 9,67 | 8,33 | 29,00 | 47,47 | 18,47 |
| SPC-29 | 611 | 5,62 | 3,67 | 1,30 | 8,00 | 2,33 | 31,00 | 42,63 | 11,63 |
| SPD-3 | 520 | 5,85 | 34,00 | 2,23 | 8,00 | 2,00 | 39,34 | 51,57 | 12,23 |
| SPD-7 | 599 | 5,81 | 21,00 | 1,50 | 8,00 | 3,33 | 43,34 | 56,17 | 12,83 |
| SPD-10 | 685 | 5,85 | 10,67 | 0,63 | 6,00 | 6,67 | 39,33 | 52,63 | 13,33 |
| SPD-15 | 647 | 5,79 | 32,00 | 1,20 | 9,00 | 3,00 | 45,00 | 58,20 | 13,20 |
| 20-30 cm | | | | | | | | | |
| CE | 521 | 4,90 | 2,00 | 0,87 | 1,00 | 2,33 | 59,30 | 63,50 | 3,87 |
| PA-20 | 671 | 6,13 | 2,33 | 0,47 | 6,00 | 9,00 | 22,43 | 37,90 | 15,47 |
| SPC-29 | 617 | 5,46 | 3,67 | 1,23 | 5,67 | 1,67 | 28,83 | 37,40 | 8,57 |
| SPD-3 | 540 | 5,82 | 6,67 | 1,57 | 5,33 | 1,67 | 31,60 | 40,17 | 8,57 |
| SPD-7 | 590 | 5,67 | 2,67 | 0,97 | 4,00 | 2,67 | 30,63 | 38,27 | 7,63 |
| SPD-10 | 664 | 5,63 | 5,00 | 0,40 | 5,67 | 5,67 | 23,59 | 35,33 | 11,73 |
| SPD-15 | 660 | 5,59 | 4,00 | 0,90 | 3,50 | 2,50 | 35,00 | 41,90 | 4,90 |
| 30-40 cm | | | | | | | | | |
| CE | 530 | 4,99 | 1,50 | 0,83 | 1,00 | 1,50 | 60,17 | 63,50 | 2,50 |
| PA-20 | 670 | 6,04 | 1,33 | 0,57 | 2,33 | 4,00 | 31,00 | 37,90 | 6,90 |
| SPC-29 | 627 | 5,29 | 2,00 | 1,07 | 2,33 | 1,00 | 33,00 | 37,40 | 4,40 |
| SPD-3 | 548 | 5,65 | 3,00 | 1,17 | 4,33 | 1,33 | 33,34 | 40,17 | 6,83 |
| SPD-7 | 612 | 5,57 | 2,33 | 0,60 | 2,33 | 2,67 | 32,67 | 38,27 | 5,60 |
| SPD-10 | 685 | 5,33 | 2,67 | 0,33 | 2,33 | 3,67 | 29,00 | 35,33 | 6,33 |
| SPD-15 | 641 | 5,72 | 2,33 | 0,90 | 2,33 | 2,00 | 36,67 | 41,90 | 5,23 |

^{1,2} CE: Cerrado nativo; PA-20: pastagem com 20 anos de implantação (*Brachiaria decumbens*); SPC-29: sistema plantio direto com 29 anos de implantação (soja/milho); SPD-3, SPD-7, SPD-10 e SPD-15: sistema plantio direto com, respectivamente, 3, 7, 10 e 15 anos de implantação (soja/milho). Fonte: Siqueira Neto (2006).

Contudo, para as áreas com cultivo anual (plantio convencional e plantio direto) o pH do solo entre as camadas estudadas apresentaram um gradiente decrescente no perfil do solo, provavelmente devido a aplicação de calcário (Tabela 2.2).

O CE apresentou os menores valores na SB ($\approx 3,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), constatado pelos teores de cálcio, magnésio e potássio, expostos Tabela 2.2. Às áreas que foram cultivadas (pastagem, plantio convencional e plantio direto independente do tempo de adoção) apresentaram os valores mais elevados ($\approx 11,0$ a $18,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), demonstrando o efeito da aplicação do calcário como fonte de cálcio e magnésio, e a aplicação do fertilizante potássico no aumento da fertilidade do solo (Siqueira Neto, 2006).

Os valores da CTC potencial do solo, assim como a SB, apresentaram os maiores valores nas camadas superficiais (Tabela 2.2), onde foram encontrados os maiores teores de C e N, e decrescem com a profundidade. Estes resultados evidenciaram a importância da MOS para a CTC.

2.2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado, pelo fato das áreas estarem sob as mesmas condições edafo-climáticas, com parcelas subdivididas, constando de sete áreas (tratamentos), com seis repetições.

2.2.4 Amostragem do solo

A amostragem foi realizada em fevereiro de 2007 (estação chuvosa), sendo selecionada uma área com aproximadamente 1 ha (100 x 100 m), em cada tratamento. Foram coletadas amostras de solo em seis trincheiras (repetições), distantes dez metros entre si, nas camadas 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Amostras indeformadas de solo foram retiradas com o auxílio de um cilindro de inox (5 x 5 cm), sendo que nas três últimas camadas que

perfazem 10 cm foram feitas no centro. Nestas amostras foram determinadas a densidade aparente do solo e os teores de C, para a estimativa dos estoques deste elemento no solo.

No período da coleta as áreas sob SPD-10 e SPC-29 estavam sob cultivo do milheto (floração) e sob SPD-3, SPD-7 e SPD-15 com milho (grãos maduros). A pastagem cultivada com *Brachiaria decumbens* havia passado por uma reforma 2 meses antes da coleta das amostras de solo através da gradagem e recém sementeira da braquiária com aplicação de 80 kg de 04-20-18.

2.2.5 Determinação da densidade e teores de C do solo

No laboratório foi determinada a massa total de solo contida em cada cilindro de inox. Após a análise da umidade gravimétrica, a partir de uma alíquota de 5 g, e conhecendo-se as dimensões do cilindro (altura e raio) determinou-se a densidade aparente do solo (BLAKE; HARTGE, 1986).

Para a análise dos teores de C total, inicialmente as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas a 2 mm. Posteriormente, uma porção foi moída, passada totalmente em peneira de 100 mesh (0,150 mm) e analisada por combustão a seco em um analisador elementar LECO CN-2000 no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (CENA-USP).

2.2.6 Cálculo do estoque de C do solo

Os estoques de C foram calculados a partir dos teores de C com a densidade do solo para cada camada amostrada (Equação 1) (NEILL et al., 1997; BERNOUX et al., 1998). E os resultados foram corrigidos pela massa fixa dos primeiros 4000 Mg ha⁻¹ de solo (Equação 2) segundo Ellert et al. (2002).

$$E = d \times h \times (C) \quad (1)$$

Sendo:

E = estoque de carbono ou nitrogênio total do solo (Mg ha^{-1});

d = densidade aparente do solo;

h = espessura da camada amostrada;

C = teor de carbono total do solo.

$$\mathbf{Ec} = \sum^{n-i}\mathbf{E} + [\mathbf{MAi} - (\sum^n\mathbf{Ma} - \sum^n\mathbf{Mr})] \times (\mathbf{Ci}) \quad (2)$$

Sendo:

Ec = Estoque corrigido de C corrigido pela massa de solo (Mg ha^{-1});

$\sum^{n-i}\mathbf{E}$ = somatório dos estoques das camadas (sem a última camada amostrada);

MAi = massa de solo da última camada de solo amostrado;

$\sum^n\mathbf{Ma}$ = somatório da massa total de solo amostrada;

$\sum^n\mathbf{Mr}$ = somatório da massa de solo referencia ou massa referencia;

Ci = teor de C na última camada amostrada.

A taxa (acúmulo ou perda) anual de C no solo foi estimada com base nas alterações dos estoques de C ao longo do tempo (Equação 3).

$$\mathbf{TC} = (\mathbf{Ec}_f - \mathbf{Ec}_i) / \mathbf{t} \quad (3)$$

Sendo:

TC = Taxa (acúmulo ou perda) anual de C no solo ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

Ec_f = Estoque de C em um determinado tempo final;

Ec_i = Estoque de C em um determinado tempo inicial;

t = tempo decorrido (anos)

Com o objetivo de acompanhar o comportamento das variáveis analisadas nas áreas de estudo, os resultados observados foram comparados em estudo realizado no ano de 2004 (SIQUEIRA NETO, 2006).

2.2.7 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância com o propósito de conhecer as diferenças significativas entre os tratamentos pelo procedimento ANOVA. As médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, para caracterizar as diferenças entre os tratamentos. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa computacional Assistat (SILVA, 2006).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Densidade do solo

Os valores das densidades do solo (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 0-40 cm) das áreas avaliadas estão apresentados na tabela 2.

De maneira geral foram observados menores valores de densidade na camada 0-5 cm e 30-40 cm no perfil do solo nos tratamentos estudados. O adensamento do solo nas camadas intermediárias próximos a 20 cm de profundidade, segundo Siqueira Neto (2006), é uma característica dos Latossolos desta região (Tabela 2.3).

Os valores da densidade do solo (0-40 cm) nos anos de 2004 e 2007 apresentaram aumento significativo de aproximadamente 8% nas áreas sob SPC-29 e SPD-7 (Tabela 2.3). E seguiram a mesma tendência nos dois períodos observados, com densidades do solo estatisticamente menores no CE (1,07 e 1,02 g cm⁻³) e no SPD-15 (1,05 e 1,10 g cm⁻³) em relação às demais áreas (Tabela 2.3).

Os resultados observados no CE expressa o valor da densidade do solo onde não houve intervenção antrópica e estão de acordo com outros trabalhos científicos em solos sob Cerrado nativo.

Bayer et al. (2006) avaliando dois Latossolos (0-20 cm) com diferentes teores de argila, obtiveram valores de densidade de 0,89 e 0,98 g cm⁻³, respectivamente, em Luziânia (GO) em

um solo de textura média argilosa (35% de argila) e em Costa Rica (MS) em um solo muito argiloso (65% de argila).

Resck et al. (2000) obtiveram valor da densidade do solo (0-30 cm) de $0,97 \text{ g cm}^{-3}$ sob Cerrado nativo em um Latossolo Vermelho escuro em Planaltina (DF).

Especificamente na área com pastagem, os valores da densidade do solo nos dois anos amostrados estavam entre os mais altos quando comparados às demais áreas. Esse resultado pode ser atribuído principalmente à baixa produtividade da gramínea e ao pisoteio dos animais, evidentes na área, que com o tempo possivelmente compactou o solo devido ao menor desenvolvimento das raízes, que contribuem para uma melhor estruturação do solo.

A reforma da área PA-20 (gradagem, semeadura, adubação, tráfego de máquinas), dois meses antes da coleta, também pode ter contribuído para o aumento da densidade do solo, em relação às demais áreas.

Tabela 2.3 - Densidade do solo (g cm^3) para cada área avaliada nos anos de 2004 (n=18) e 2007 (n=6) e desvio padrão, em Rio Verde (GO).

| Área | 2004 ¹ | | | | | | 2007 ² | | | | | |
|---------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 0-40 | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 0-40 |
| | cm | | | | | | Cm | | | | | |
| CE | 0,87 ± 0,16 | 1,01 ± 0,16 | 1,19 ± 0,06 | 1,20 ± 0,05 | 1,23 ± 0,06 | 1,07 cA | 0,79 ± 0,06 | 0,96 ± 0,07 | 1,03 ± 0,05 | 1,09 ± 0,06 | 1,11 ± 0,03 | 1,02 dA |
| PA-20 | 1,23 ± 0,09 | 1,25 ± 0,07 | 1,19 ± 0,08 | 1,23 ± 0,09 | 1,21 ± 0,07 | 1,23 aA | 1,13 ± 0,04 | 1,17 ± 0,16 | 1,22 ± 0,08 | 1,24 ± 0,06 | 1,22 ± 0,08 | 1,19 bA |
| SPC-29 | 1,03 ± 0,06 | 1,11 ± 0,07 | 1,14 ± 0,10 | 1,13 ± 0,04 | 1,11 ± 0,06 | 1,11 bB | 1,13 ± 0,13 | 1,27 ± 0,07 | 1,21 ± 0,07 | 1,23 ± 0,04 | 1,18 ± 0,02 | 1,20 abA |
| SPD-3 | 1,15 ± 0,04 | 1,20 ± 0,08 | 1,22 ± 0,12 | 1,26 ± 0,09 | 1,24 ± 0,09 | 1,21 aA | 1,11 ± 0,09 | 1,28 ± 0,10 | 1,25 ± 0,03 | 1,24 ± 0,03 | 1,20 ± 0,02 | 1,22 abA |
| SPD-7 | 1,13 ± 0,08 | 1,17 ± 0,05 | 1,18 ± 0,09 | 1,17 ± 0,09 | 1,17 ± 0,06 | 1,16 abB | 1,23 ± 0,06 | 1,33 ± 0,03 | 1,31 ± 0,04 | 1,23 ± 0,03 | 1,23 ± 0,03 | 1,27 aA |
| SPD-10 | 1,11 ± 0,08 | 1,20 ± 0,05 | 1,28 ± 0,04 | 1,22 ± 0,08 | 1,26 ± 0,05 | 1,21 aA | 1,20 ± 0,13 | 1,26 ± 0,10 | 1,24 ± 0,08 | 1,23 ± 0,06 | 1,23 ± 0,01 | 1,23 abA |
| SPD-15 | 0,96 ± 0,09 | 1,04 ± 0,08 | 1,10 ± 0,08 | 1,11 ± 0,04 | 1,05 ± 0,02 | 1,05 cA | 0,95 ± 0,07 | 1,12 ± 0,11 | 1,10 ± 0,07 | 1,12 ± 0,02 | 1,10 ± 0,04 | 1,10 cA |

¹Fonte: Siqueira Neto (2006). Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%. ²CE: Cerrado nativo; PA-20: pastagem com 20 anos de implantação (*Brachiaria decumbens*); SPC-29: sistema plantio direto com 29 anos de implantação (soja/milho); SPD-3, SPD-7, SPD-10 e SPD-15: sistema plantio direto (soja/milho) com, respectivamente, 3, 7, 10 e 15 anos de implantação no ano de 2007.

Os resultados observados na pastagem estão de acordo com os apresentados por Centurion et al. (2001), em estudo realizado em área com 20 anos de uso (*Panicum maximum*) sob Latossolo Vermelho Eutrófico típico (textura muito argilosa a moderada) em Jaboticabal (SP). Os autores relataram que a área induziu à degradação das propriedades físicas do solo em relação ao solo natural (mata), devido a maiores resistências do solo à penetração e menores velocidades de infiltração da água; sendo atribuído a maior compactação ao pisoteio dos animais.

Souza et al. (2005) encontraram maior densidade do solo (0-20 cm) em uma pastagem com 10 anos de uso ($1,13 \text{ g cm}^{-3}$), em relação ao Cerrado nativo ($1,08 \text{ g cm}^{-3}$) sob Latossolo Vermelho em Mineiros (GO); atribuindo esse aumento ao pisoteio dos animais. Os autores consideraram a densidade do solo em torno de $1,27 \text{ g cm}^{-3}$ prejudicial ao desenvolvimento radicular e a infiltração de água.

De acordo com as considerações de Souza et al. (2005), a densidade de $1,22 \text{ g cm}^{-3}$ observada na PA-20 indicou que essas propriedades possivelmente não foram comprometidas.

Na área SPC-29 a mobilização periódica do solo não foi suficiente para diminuir a densidade verificada, com valor de $1,09 \text{ g cm}^{-3}$ em 2004 e $1,20 \text{ g cm}^{-3}$ em 2007. Esses valores foram intermediários em relação às demais áreas e indicaram significativo aumento no período de três anos (Tabela 2.3). E pode-se concluir que no preparo do solo (aração e gradagem) sob SPC, provavelmente inicia-se um processo de adensamento que aumenta com o tempo de implantação.

Segundo Cassel (1985), uma menor densidade do solo sob SPC é mantida apenas nos primeiros meses que se sucedem ao preparo, pois a compactação do solo submetido ao cultivo mecanizado inicia-se após a realização da semeadura. Fato que também pode explicar a não ocorrência da diminuição da densidade sob a PA-20 após o emprego das práticas de recuperação.

Os resultados da densidade do solo verificado no SPC-29 nos anos de 2004 e 2007 ($1,09$ e $1,20 \text{ g cm}^{-3}$) estão de acordo com outras pesquisas. Em estudo realizado em Costa Rica (MS), a densidade de um Latossolo (0-20 cm) muito argiloso (65%) foi de $1,06 \text{ g cm}^{-3}$ em SPC com 20 anos de uso (BAYER et al., 2006).

Metay et al. (2007) relataram valores de densidade do solo (0-20 cm) maiores que o do presente trabalho, também associado ao um aumento com o tempo de implantação, de $1,23$ para $1,25 \text{ g cm}^{-3}$ no período de cinco anos em um SPC, inicialmente com 18 anos de implantação em Goiânia (GO).

A densidade do solo (0-40 cm) foi mais elevada que a vegetação nativa nas áreas sob SPD com 3 ($1,22 \text{ g cm}^{-3}$), 7 ($1,29 \text{ g cm}^{-3}$) e 10 ($1,23 \text{ g cm}^{-3}$) anos de implantação, podendo ser atribuído ao rearranjo natural que o solo tende a apresentar quando deixa de ser submetido à manipulação mecânica (TORMENA et al., 1998).

Porém, espera-se decréscimo da densidade em função do tempo de implantação do SPD, devido ao aumento da MOS que favorece um melhor desenvolvimento estrutural (MIELNICZUK et al., 1999).

O menor valor da densidade do solo entre os SPD foi observado na área sob SPD-15, que após 12 anos sob esse sistema, em 2004 com $1,03 \text{ g cm}^{-3}$, apresentava densidade do solo semelhante à vegetação nativa ($1,05 \text{ g cm}^{-3}$), ao contrário das demais áreas, continuando com essa característica em 2007, com $1,09 \text{ g cm}^{-3}$ (Tabela 2.3).

Silva et al. (2005) pesquisaram diferentes sistemas de manejo do solo em Latossolo do Cerrado e verificaram valores de densidade semelhantes ao do presente estudo. Os pesquisadores observaram maiores valores da densidade do solo em áreas sob SPD ($1,16 \text{ g cm}^{-3}$) com menos de 5 anos de implantação comparados ao solo sob Cerrado nativo ($1,08 \text{ g cm}^{-3}$), sem diferença ao SPC ($1,16 \text{ g cm}^{-3}$).

Bayer et al. (2006), no mesmo trabalho de pesquisa citado anteriormente, obtiveram o mesmo valor da densidade do solo, $1,03 \text{ g cm}^{-3}$, encontrado no SPD-15 em um SPD após 20 anos na camada 0-20 cm, em Costa Rica (MS) em Latossolo muito argiloso (65% de argila). E Metay et al. (2007) observaram diminuição da densidade do solo com o tempo de implantação do SPD, passando de $1,30 \text{ g cm}^{-3}$ no ano de 1998 para $1,27 \text{ g cm}^{-3}$ em 2003, quando a área estava sob SPD a 13 e 18 anos, respectivamente.

Esses resultados da densidade do solo indicam que, apesar da variação nos valores encontrados sob SPD em diferentes trabalhos de pesquisa, possivelmente ocorra melhor estruturação do solo com o maior tempo de adoção do SPD com diminuição da densidade.

2.3.2 Teor e estoque de C no solo

Os teores de C (0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 0-40 cm) nas áreas avaliadas mostram decréscimo no perfil do solo, o qual é caracterizado pela maior concentração da MOS em superfície, pela deposição vegetal (Tabela 2.4).

Considerando a camada 0-40 cm de solo, os teores de C entre as áreas avaliadas nos anos de 2004 e 2007 seguiram a mesma tendência e apresentaram diferenças significativas. E no período de três anos (2004 e 2007) não foram verificadas diferenças significativas nestes teores em cada área.

Em 2004 as concentrações de C (0-40 cm) foram significativamente maiores no CE ($21,2 \text{ g kg}^{-1}$) e no SPD-15 ($20,6 \text{ g kg}^{-1}$) e menores no SPD-3 ($13,6 \text{ g kg}^{-1}$). No ano de 2007 os maiores teores foram novamente observados no CE ($22,7 \text{ g kg}^{-1}$) e no SPD-15 ($21,8 \text{ g kg}^{-1}$), intermediários no SPD-10 ($19,5 \text{ g kg}^{-1}$) e menores no SPD-7 ($14,9 \text{ g kg}^{-1}$) e no SPD-3 ($13,6 \text{ g kg}^{-1}$).

Tabela 2.4 - Teor de C no solo (g kg⁻¹) para cada área avaliada nos anos de 2004 (n=18) e 2007 (n=6) e desvio padrão, em Rio Verde (GO).

| Área | 2004 ¹ | | | | | | 2007 ² | | | | | |
|---------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|
| | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 0-40 | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 0-40 |
| | Cm | | | | | | cm | | | | | |
| CE | 36,61 ± 8,23 | 24,93 ± 4,95 | 18,05 ± 1,81 | 14,84 ± 2,86 | 11,62 ± 0,99 | 21,21 aA | 36,43 ± 8,10 | 19,95 ± 5,34 | 21,25 ± 2,51 | 17,13 ± 1,85 | 13,43 ± 3,09 | 22,73 aA |
| PA-20 | 20,75 ± 2,17 | 19,01 ± 1,45 | 16,43 ± 1,16 | 13,23 ± 1,20 | 11,45 ± 0,76 | 16,17 bcA | 21,45 ± 0,84 | 19,10 ± 1,73 | 17,38 ± 1,15 | 15,33 ± 1,38 | 13,23 ± 0,24 | 17,79 bcA |
| SPC-29 | 19,09 ± 1,85 | 18,20 ± 0,98 | 16,04 ± 1,42 | 13,71 ± 1,18 | 12,72 ± 1,81 | 15,95 bcA | 19,75 ± 0,17 | 18,60 ± 1,77 | 15,98 ± 1,59 | 15,45 ± 1,17 | 14,10 ± 1,00 | 17,18 bcA |
| SPD-3 | 17,12 ± 1,14 | 13,34 ± 1,12 | 13,34 ± 1,12 | 11,96 ± 1,14 | 10,72 ± 0,81 | 13,66 cA | 17,13 ± 2,09 | 16,08 ± 2,16 | 13,95 ± 1,80 | 15,10 ± 2,56 | 12,13 ± 0,39 | 15,16 cA |
| SPD-7 | 19,41 ± 1,68 | 16,71 ± 1,59 | 14,91 ± 1,49 | 13,10 ± 1,17 | 11,46 ± 0,85 | 15,12 bcA | 17,15 ± 0,57 | 15,25 ± 1,23 | 15,70 ± 0,54 | 13,63 ± 0,99 | 11,53 ± 0,31 | 14,91 cA |
| SPD-10 | 22,79 ± 3,77 | 17,67 ± 1,48 | 17,06 ± 2,10 | 13,36 ± 1,47 | 11,14 ± 0,63 | 18,90 abA | 24,00 ± 3,06 | 20,48 ± 3,79 | 19,05 ± 1,66 | 17,58 ± 2,41 | 13,88 ± 1,73 | 19,54 abA |
| SPD-15 | 27,85 ± 2,95 | 22,46 ± 1,12 | 20,81 ± 1,10 | 16,98 ± 1,31 | 15,37 ± 1,39 | 20,69 aA | 28,40 ± 1,37 | 24,48 ± 4,17 | 20,75 ± 3,38 | 17,73 ± 1,05 | 13,38 ± 1,29 | 21,86 aA |

¹Fonte: Siqueira Neto (2006). Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%. ³CE: Cerrado nativo; PA-20: pastagem com 20 anos de implantação (*Brachiaria decumbens*); SPC-29: sistema plantio direto com 29 anos de implantação (soja/milho); SPD-3, SPD-7, SPD-10 e SPD-15: sistema plantio direto (soja/milho) com, respectivamente, 3, 7, 10 e 15 anos de implantação no ano de 2007.

Os estoques de C no solo (0-40 cm) das áreas avaliadas estão na tabela 6 e seguiram a mesma tendência dentro de cada ano observado (2004 e 2007), com maiores valores no CE (75,2 e 76,6 Mg ha⁻¹), no SPD-10 (65,9 e 63,7 e Mg ha⁻¹) e no SPD-15 (78,8 e 83,7 e Mg ha⁻¹) e menores nas demais áreas. Enquanto não houve diferenças estatísticas entre os anos observados dentro de uma mesma área.

Como os estoques de C do solo foram calculados a partir dos valores do teor de C e da densidade do solo, é evidente a necessidade da correção dos estoques de C, que no presente trabalho foi feita em relação à vegetação nativa. Para que não ocorresse a superestimação dos resultados obtidos na comparação entre o sistema natural e aos submetidos ao manejo.

A área SPC-29 indicou que as práticas convencionais de cultivo, baseadas na aração e gradagem, possivelmente estimularam a oxidação da MOS com conseqüente perda de C, refletindo em um dos menores estoques de C observados em 2004 e 2007, respectivamente 54,00 e 59,57 Mg ha⁻¹ (Tabela 2.4), em relação às demais áreas observadas. E em relação à vegetação nativa o estoque de C no SPC-29 foi cerca de 30%.

Esses resultados estão de acordo com outras pesquisas que relataram menores valores no estoque de C sob SPC em relação à Latossolos vermelho sob Cerrado nativo, sugerindo que a pratica desse sistema é propicia a perda de C do solo (JANTALIA et al., 2006; BERNOUX et al., 2006; CORAZZA et al., 1999).

Jantalia et al. (2006) avaliando o efeito do cultivo (predominantemente de soja) no estoque de C (0-30 cm) em um Latossolo argiloso no Cerrado relataram diminuição de aproximadamente 39% desse atributo sob SPC em 20 anos (64,8 Mg ha⁻¹) em relação ao solo sob vegetação nativa (96,6 Mg ha⁻¹).

Tabela 2.5 - Estoque médio de C do solo corrigido (0-40 cm) e a diferença anual para cada área avaliada nos anos de 2004 (n=18) e 2007 (n=6) e desvio padrão, em Rio Verde (GO).

| Área ² | Ano de instalação da área | Anos sob SPC no ano de 2007 | Estoque de C (Mg C ha ⁻¹) | | Diferença anual (Mg C ha ⁻¹) |
|-------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------|--|
| | | | 2004 ¹ | 2007 | |
| CE | - | - | 75,20 ± 7,79 aA | 76,62 ± 6,25 aA | 0,44 |
| PA-20 | 1978 | 9 | 64,30 ± 3,80 cdA | 68,13 ± 2,60 bcA | 1,18 |
| SPC-29 | 1978 | 29 | 62,10 ± 3,58 cdA | 65,90 ± 1,60 bcA | 1,04 |
| SPD-3 | 1994 | 9 [†] | 54,00 ± 3,49 dA | 59,57 ± 5,36 cA | 1,52 |
| SPD-7 | 1994 | 9 | 59,40 ± 4,52 cdA | 63,73 ± 4,58 cA | 1,18 |
| SPD-10 | 1987 | 10 | 72,30 ± 3,40 bA | 76,20 ± 5,82 aA | 1,06 |
| SPD-15 | 1977 | 10 ^{† †} | 78,80 ± 3,67 abA | 82,22 ± 6,38 aA | 0,93 |

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%. Fonte: Siqueira Neto (2006). Os valores foram corrigidos pela massa fixa de solo (4000 Mg ha⁻¹).²CE: Cerrado nativo; PA-20: pastagem com 20 anos de implantação (*Brachiaria decumbens*); SPC-29: sistema plantio direto com 29 anos de implantação (soja/milho); SPD-3, SPD-7, SPD-10 e SPD-15: sistema plantio direto (soja/milho) com, respectivamente, 3, 7, 10 e 15 anos de implantação no ano de 2007.

Na área PA-20, uma das áreas avaliadas com menores estoques de C, com 64,30 (no ano de 2004) e 68,13 Mg ha⁻¹ (no ano de 2007), provavelmente se deveram as características de degradação da área (Tabela 2), além do cultivo por 9 anos sob SPC antecedido pela pastagem na área PA-20, que provavelmente contribuiu para os menores valores observados. E em relação ao Cerrado apresentou 11% menos C estocado na camada 0-40 cm de solo.

Pastagens de baixa produtividade favoreceram a redução do C do solo (Silva et al., 2004). Freitas et al. (2000) em estudo realizado em Latossolo sob diferentes sistemas em Senador Canedo (GO) encontraram resultados semelhantes ao do presente trabalho, com estoque de C na camada 0-40 cm 13% menor em uma pastagem degradada com *Brachiaria decumbens* (46% de argila), com mais de 10 anos de implantação, em relação ao Cerrado nativo (48% de argila).

Em pesquisa sobre os impactos na física, MOS e na macrofauna do solo na integração lavoura-pecuária, Marchão et al. (2007), em Planaltina (DF), relatou menor estoque de C na camada 0-30 cm de solo de aproximadamente 13% em uma pastagem contínua com

Brachiaria decumbens (60% de argila) com 13 anos de implantação em relação ao solo sob Cerrado nativo.

Há evidências de que pastagem quando bem manejada pode alcançar estoque de C semelhante à vegetação nativa, como Roscoe et al. (2001), que não observaram diferenças significativas no estoque de C ao comparar o solo sob Cerrado e uma pastagem com *Brachiaria spp.* A 23 anos de implantada após a retirada da vegetação nativa, com respectivamente 150 e 170 Mg C ha⁻¹, na camada 0-100 cm de um Latossolo de Minas Gerais. Os autores atribuíram estes resultados à elevada produção de biomassa pela pastagem além da proteção da MOS proporcionada pelo elevado teor de argila (88%).

Apesar da área sob PA-20 ter passado por reforma 2 meses antes da coleta, o aumento no estoque de C evidentemente não é imediato, porém é possível que ocorra após certo período de tempo, como apontado por Noronha (2005), em experimento de recuperação de pastagens em Latossolo vermelho no Estado de Rondônia.

Noronha (2005) encontrou aumento significativo no estoque de C na camada 0-30 cm de solo (de 44 para 55 Mg ha⁻¹) em uma pastagem após 28 meses da reforma, com gradagem, NPK e micronutrientes. O autor ainda relata aumento no estoque de C em pastagens com 9 meses após a reforma, quando o pasto foi submetido ao SPD com arroz, NPK e micronutrientes (de 45 para 53 Mg ha⁻¹) e 12 meses após a reforma, quando submetido ao SPD com soja, PK e micronutrientes (de 47 para 64 Mg ha⁻¹). Dessa forma, é possível que outro manejo na área PA-20 poderia ter sido mais adequado para acelerar o aumento nos teores e estoques de C.

As áreas sob SPD avaliadas foram anteriormente cultivadas entre 9 e 10 anos sob SPC, e em 2004 e 2007 foram verificados estoques de C nas áreas sob SPD-3 e SPD-7 significativamente inferiores à área sob CE, ao contrário das áreas SPD-10 e SPD-15 (Tabela 2.5).

Uma possível explicação da diferença verificada nos estoques de C do solo entre as áreas sob SPD é a idade de implantação desse sistema. Pois é atribuído ao SPD a capacidade de acumular C devido às premissas desse sistema (baseados no não revolvimento, na adição e manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo) que diminuiria a oxidação e promoveria adição e proteção física da MOS no interior de agregados, com conseqüente aumento temporal de C (BAYER et al., 2006 e BERNOUX et al., 2006).

Como o tempo de implantação seria diretamente proporcional ao aumento do estoque de C, o SPD-10 e o SPD-15 por terem maiores idades de implantação em relação ao SPD-3 e SPD-7 são áreas que possivelmente estavam mais condicionadas a esse sistema. Assim, os maiores estoques de C verificados sob essas áreas eram esperados, já que as áreas sob SPD foram precedidas, praticamente, pelo mesmo tempo de cultivo sob SPC, entre 9 e 10 anos.

Essas observações estão de acordo com Rossato et al. (2001), que observaram o estoque de C em duas áreas sob SPD (ambas com 4 anos de uso), implantadas uma sob campo natural e a outra em área cultivada sob SPC por 15 anos em um Argissolo Vermelho (Santa Maria-RS). Os autores verificaram que a primeira área conseguiu manter estoque de C original, enquanto na segunda os valores foram inferiores.

E concluíram que este último processo está relacionado ao longo tempo de adoção do SPC, onde devido ao preparo do solo ocorrem elevadas taxas de oxidação biológica da MOS e erosão, e o curto período de adoção do SPD (4 anos) não foi suficiente para recuperar o estoque de C original.

Outra possível explicação, além do tempo de implantação do SPD em relação aos estoques de C, pode ser devido aos diferentes teores de argila no solo das áreas, que apresentaram uma relação de aumento de C para solos com os maiores teores de argila.

A área SPD-10 no ano de 2004 e a área SPD-7 em 2007 possuíam a mesma idade de implantação do SPD (7 anos). Porém, quando comparadas com o solo sob vegetação nativa, o

SPD-10 (65% de argila) não apresentou diferença no estoque de C, enquanto a área SPD-7 (55% de argila) mostrou estoque inferior.

Enquanto na área SPD-7 em 2004 e na área SPD-3 em 2007 que possuíam respectivamente 4 e 3 anos de implantação do SPD e solos com teores de argila semelhantes (55%), não foi observado diferenças estatísticas entre si nos estoques de C.

Considerando que as áreas da presente pesquisa, exceto a PA-20, possuem entrada de C via restos culturais semelhantes devido à utilização da mesma sucessão de culturas, a diferença entre os teores de argila pode ter consideração elevada nos resultados do estoque de C observadas. É conhecido que os minerais de argila promovem elevada proteção física da MOS sendo considerada um fator crítico na estabilidade da MOS em solos tropicais e subtropicais (FELLER; BEARE, 1997; BALESSENT et al., 2000; ROSCOE; BUURMAN, 2003).

Esses resultados poderiam estar indicando que quanto maior quantidade argila associado ao tempo de implantação do SPD, maior seria a eficiência no acúmulo da MOS. E que o Latossolo vermelho da presente pesquisa, com 65% de argila, levou cerca de 7 anos para recuperar o estoque de C original. Outros trabalhos de pesquisa podem estar suportando essa hipótese.

D'andréa et al. (2004), não observaram alterações nos estoques de C no solo (0-20 cm) sob SPD com 5 e 6 anos de implantação (respectivamente 40,1 e 40,3 Mg C ha⁻¹) em estudo realizado em Morrinhos (GO) comparado a um SPC (37,6 Mg C ha⁻¹), uma pastagem (40,6 Mg C ha⁻¹) e até mesmo ao solo sob vegetação nativa do Cerrado (37,8 Mg C ha⁻¹).

Os autores atribuíram esse fato ao curto período de implantação do SPD e a textura argilosa do solo estudado, em torno de 40%, por dificultar as perdas de C pela formação de complexos estáveis entre as substâncias húmicas e os constituintes inorgânicos do solo.

Por outro lado, Bayer et al. (2006), avaliando o efeito de sistemas de manejo do solo no acúmulo de C em Latossolo vermelho (0-20 cm) do Cerrado (65% de argila) encontraram estoque de C superior em um SPD com 5 anos de implantação ($57,3 \text{ Mg ha}^{-1}$) em relação ao solo sob CE ($54,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) e um SPC ($54,3 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Mesmo com o curto período de implantação, o acúmulo de C foi atribuído ao aporte de resíduos culturais associado à menor taxa de decomposição da MOS devido ao menor distúrbio ao solo proporcionado pelo SPD (BAYER et al., 2006). Os autores ainda sugeriram a importância da proteção física da MOS relacionada a textura argilosa e a agregação do solo como os fatores que proporcionaram aumento de C no solo.

2.3.3 Estimativa da taxa de acúmulo de C sob SPD

Como descrito acima, as variações nos estoques de C (0-40 cm) em cada área de estudo não apresentaram diferenças significativas (Tabela 2.5). Porém, um dos objetivos da presente pesquisa foi estimar o acúmulo de C nas áreas sob SPD, sabendo-se que essa prática na região do Cerrado em questão, resultou em estoques de C no solo semelhantes à vegetação nativa após 10 anos de uso, enquanto o SPC-29 e a PA-20 inferiores (Tabela 2.5).

A pesquisa inferiu sobre a taxa de acúmulo de C de duas formas, considerando cada área individualmente (entre os anos 2004 e 2007) e uma cronossequência envolvendo todos os valores dos estoques de C obtidos nas áreas sob SPD avaliadas nos anos de 2004 e 2007.

Tomando as áreas sob SPD individualmente, a maior taxa anual de acúmulo de C observado na área com implantação mais recente, obtendo-se $1,52 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o SPD-3. A taxa diminuiu conjuntamente ao aumento da idade de implantação, e apresentou valor de $0,93 \text{ Mg ha}^{-1}$ no SPD-15.

A tendência observada nas áreas sob SPD está de acordo com o relatado por Bayer et al. (2000) que consideraram que a estimativa de acúmulo de C é somente válida

para os primeiros 10-20 anos de adoção do SPD, e que baixos valores são comumente encontrados depois desse tempo devido a um novo estado de equilíbrio.

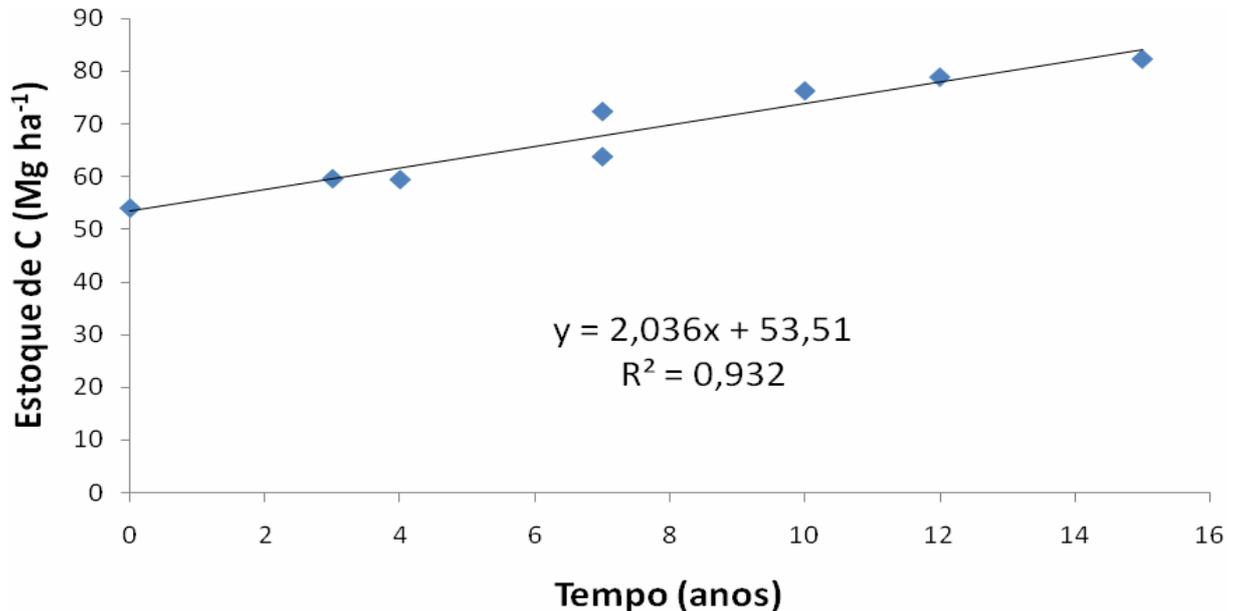


Figura 2.3 - Estimativa da taxa de acúmulo de C a partir dos valores do estoque de C (0-40 cm) observados, nos dois períodos pesquisados, nas áreas sob SPD (equação da reta) em Rio Verde (GO).

Levando em conta as taxas de acúmulo de C das quatro áreas sob SPD foi observado um valor médio de $1,17 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C acumulado anualmente. Essa taxa apresenta-se acima da maioria dos valores observados na literatura (Tabela 2.6) considerando a camada de solo 0-40 cm, porém foram coerentes em relação aos estudos feitos em Latossolos do Cerrados com teor de argila semelhante (50-70%) (CORAZZA et al., 1999; PERRIN, 2003; BERNOUX et al., 2006; MIRANDA, 2007).

Corazza et al. (1999) em Latossolo do Cerrado relataram média de $0,80 \text{ Mg C ha}^{-1}$ acumulado anualmente (0-40 cm). Em trabalho de revisão, Bernoux et al. (2006) forneceram 44 taxas de acúmulo de C sob SPD, dos quais 4 foram na região dos Cerrados sob Latossolos, onde o maior valor foi de $0,80 \text{ Mg C ha}^{-1}$ por ano na camada 0-20 cm de solo.

Perrin (2003) observou taxa de $1,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ acumulado anualmente na camada 0-40 cm e Miranda (2007) em áreas com histórico semelhante a da presente

pesquisa (12 anos sob SPD precedido de 11 anos sob SPC) verificou taxa anual próxima, de 1,09 Mg C ha⁻¹, porém na camada 0-100 cm de solo.

A consideração da camada de solo avaliada, evidentemente, é de extrema importância no valor da taxa de acúmulo de C. Esse aspecto foi observado por Corazza et al. (1999) que reportaram diferentes taxas, de 0,5 (0-20 cm) e 0,8 (0-40 cm) Mg C ha⁻¹ na mesma área de pesquisa (Tabela 2.6).

Deve-se levar em conta a extensa variação quando esse tipo de comparação é feita, devido principalmente ao tipo de solo (teor de argila), clima, histórico das áreas e camada de solo avaliada. Fatores que em conjunto levaram a grandes diferenças nos resultados das taxas de acúmulo de C na literatura disponível (Tabela 2.6).

Na presente pesquisa um aspecto dessa variação pode ser observada, onde as áreas CE, SPC-29 e PA-20 também indicaram aumento nos estoques de C e mesmo com valores (duas últimas áreas) inferiores as áreas sob SPD-10 e SPD-15 (Tabela 2.5). Possivelmente ao efeito da variabilidade espacial ou até a alta estabilização promovida por solos argilosos, que levam a oscilação nos valores do estoque de C temporalmente.

A alta estabilização da MOS em solo argiloso foi observado por Freitas et al. (2000) em um Latossolo Vermelho distrófico, que não observaram reduções no estoques de C após 25 anos de cultivo convencional de hortaliças, arroz, milho e feijão. Da mesma forma, Roscoe e Buurman (2003), em áreas previamente cobertas por cerrado *stricto sensu*, em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso, não registraram perdas nos estoques de C após 30 anos de cultivo de milho e feijão em sucessão, sob irrigação.

O outro aspecto de análise proposto, considerando as áreas sob SPD como uma cronosequência, foi verificado uma taxa de acúmulo de C anual na ordem de 2,04 Mg C ha⁻¹ (Figura 2.3). Esse valor está muito acima do reportado por outras pesquisas (Tabela 2.6).

Contudo, a magnitude no acúmulo e entrada anual de C está além dos observados em condições de campo e na literatura para a região do Cerrado, sendo possível que os valores de acúmulo estejam superestimados por se tratar de um estudo sincrônico.

As áreas não foram convertidas a SPD partindo de condições semelhantes nos estoques de C e manejo do solo. Desta forma, quando as áreas com maior tempo foram convertidas a SPD às demais continuaram sob SPC, com revolvimento do solo e perda de MOS.

Uma forma de corrigir estes valores foi calcular a taxa de perda anual de C na áreas sob SPC-29 em relação à área sob vegetação nativa (CE), verificando, dessa forma, taxas de perda de, respectivamente, 0,50 e 0,36 Mg ha⁻¹ C ano⁻¹ para 2004 e 2007.

Depois de descontar as taxas de perda dos respectivos anos decorrente do tempo de permanência no SPC proporcional a cada tempo de implantação para as áreas sob SPD (tabela 2.5), a taxa de acúmulo de C foi recalculada, observando-se 1,57 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente em 2004 e 2007 (Figuras 4 e 5).

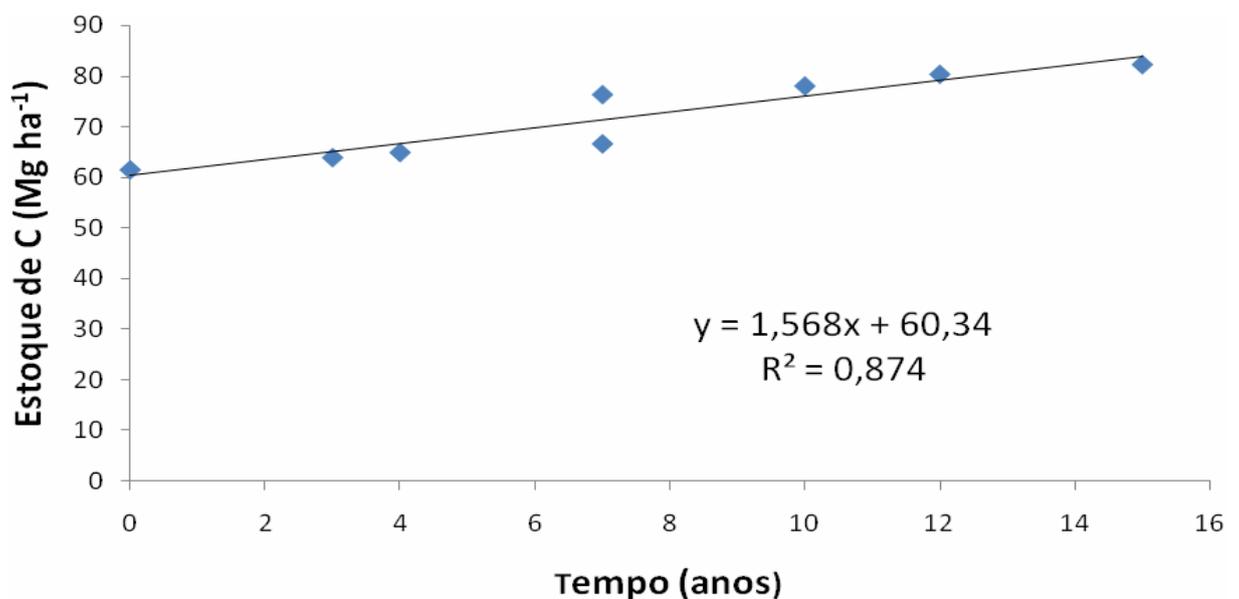


Figura 2.4 - Estimativa da taxa de acúmulo de C a partir dos valores do estoque de C (0-40 cm) observados, nos dois períodos pesquisados, nas áreas sob SPD (equação da reta) em Rio Verde (GO).

A nova taxa de acúmulo de C observada continua acima dos valores reportados na literatura e foi maior que a estipulada pela média das quatro áreas verificadas individualmente.

Esse resultado mostrou que estimar a taxa de acúmulo de C sob as condições do presente trabalho, onde as áreas não são experimentos e sim áreas agrícolas particulares, encontrou grande dificuldade e dependendo da interpretação dos resultados podem trazer resultados diversos. E considerar essas áreas como uma cronosequência pode trazer uma superestimativa dos resultados, mesmo quando levado em conta a estimativa de perda de C pelo uso do SPC anterior, evidentemente, ao SPD.

Tabela 2.6 - Taxa de acúmulo ou perda de C do solo na conversão do plantio convencional em plantio direto em diferentes locais do Brasil.

| Local | Tipo do solo | Culturas [†] | Camada (cm) | Tempo sob SPD (anos) | Taxa de C (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹) | Referência |
|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------|----------------------|--|----------------------------|
| Bioma Cerrado | | | | | | |
| Sinop (MT) | Latossolo vermelho amarelo | S/E | 0-40 | 5 | +1,70 | PERRIN (2003) |
| Costa Rica (MS) | Latossolo | S/P ou M/P | 0-20 | 8 | +0,30 | BAYER et al. (2006) |
| Luziânia (GO) | Latossolo | S/P ou M/P | 0-20 | 5 | +0,30 | BAYER et al. (2006) |
| Senador Canedo (GO) | Latossolo vermelho distrófico | M/P | 0-20 | 4 | +0,25 | FREITAS et al. (2000) |
| Sete Lagoas (MG) | Latossolo vermelho distrófico | M/P | 0-20 | 10 | -0,03 | ROSCOE; BUURMAN (2003) |
| Campinas (SP) | Latossolo vermelho distrófico | A/M – A/S | 0-20 | 12 | +0,23 | CASTRO-FILHO et al. (1998) |
| Coimbra (MG) | Argissolo vermelho amarelo | M/P - S/P | 0-20 | 15 | +0,49 | LEITE et al. (2004) |
| Planaltina (DF) | Latossolo vermelho distrófico | S/T | 0-20 | 15 | +0,50 | CORAZZA et al. (1999) |
| | | | 0-40 | 15 | +0,80 | |
| Vilhena (RO) | Latossolo vermelho amarelo | S/M | 0-30 | 3 | +2,58 | CARVALHO (2006) |
| Sorriso (MT) | Latossolo Vermelho amarelo | S/M | 0-100 | 12 | +1,09 | MIRANDA (2007) |
| Goiânia (GO) | Latossolo Vermelho distrófico | | 0-20 | 18 | +0,36 | METAY, et al. (2007) |
| Região Sul – subtropical | | | | | | |
| Londrina (PR) | Latossolo vermelho | S/T | 0-20 | 7 | +0,50 | ZOTARELLI et al. (2003) |
| | | M/A | 0-20 | 7 | +0,90 | |
| Londrina (PR) | Latossolo vermelho distrófico | S/T/M | 0-10 | 14 | +0,40 | CASTRO FILHO et al. (1998) |
| | | | 0-20 | | +0,20 | |
| Londrina (PR) | Latossolo vermelho distrófico | S/T/M | 0-40 | 21 | +0,00 | CASTRO FILHO et al. (2002) |
| Ponta Grossa (PR) | Latossolo vermelho escuro | S/T-S/A- | 0-40 | 22 | +0,90 | SA et al. (2001) |
| | | M/T | | | | |

Tabela 2.6 Continuação

| | | | | | | |
|----------------------|-------------------------------|-----------------|--------|----|-------|----------------------------|
| Ponta Grossa (PR) | Latossolo vermelho escuro | S/T-S/A- M/T | 0-20 | 15 | +0,66 | PAVEI (2005) |
| Tibagi (PR) | Latossolo vermelho escuro | S/T-S/A- M/T | 0-40 | 10 | -0,50 | SA et al. (2001) |
| Tibagi (PR) | Latossolo vermelho escuro | S/T-S/A- M/T | 0-10 | 22 | +1,00 | VENZKE FILHO et al. (2002) |
| | | | 0-10 | 10 | +0,37 | |
| Lages (SC) | Cambissolo húmico álico | M - S/T - A | 0-20 | 8 | +1,00 | BAYER; BERTOL (1999) |
| Eldorado do Sul (RS) | Podzólico vermelho escuro | A+Tr/M+C | 0-17,5 | 9 | +0,84 | BAYER et al (2002) |
| Eldorado do Sul (RS) | Podzólico vermelho escuro | A+Tr/M+C | 0-20 | 13 | +0,81 | LOVATO et al. (2004) |
| | | M/T | 0-20 | 13 | +0,52 | |
| | | A+Tr/M+C | 0-20 | 13 | +0,57 | |
| Eldorado do Sul (RS) | Podzólico vermelho escuro | A/M | 0-17,5 | 17 | -0,07 | DIEKOW et al. (2005) |
| | | M+La | 0-17,5 | 17 | +0,77 | |
| | | M+Gu | 0-17,5 | 17 | +0,88 | |
| Passo Fundo (RS) | Latossolo vermelho | S/T ou M/T | 0-10 | 11 | +0,40 | FREIXO et al. (2002) |
| Passo Fundo (RS) | Latossolo vermelho | S/T | 0-30 | 13 | +0,00 | SISTI et al. (2004) |
| | | S/T - M/T | 0-30 | 13 | +0,40 | |
| | | S/T-S/A- M/T | 0-30 | 13 | +0,70 | |
| Santa Maria (RS) | Argissolo vermelho distrófico | M/Mu | 0-20 | 4 | +1,30 | AMADO et al. (2001) |

† A = aveia preta (*Avena sativa* L.); C = caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp); E = eleusina (*Eleusine indica* (L.) Gaertn); Gu = guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.); La = lab-lab (*Dolichos lablab* L.); M = milho (*Zea mais* L.) Mu = mucuna cinza (*Stizolobium cinereum* Piper & Tracy); P = pousio; S = soja (*Glicine max* (L.) Merr.); T = trigo (*Triticum aestivum* L.); Tr = trevo (*Vicia sativa* L.).

Independente desse questionamento é evidente o potencial de acumular de C nas áreas sob SPD avaliadas. Esse potencial conduziu a maiores níveis de MOS e a uma possível redução da emissão de C para a atmosfera.

A estimativa de acúmulo de C anual considerando as áreas individualmente ($1,17 \text{ Mg ha}^{-1}$) pareceu ser mais plausível por trazer valores mais próximos dos comumente encontrados na literatura.

A presente pesquisa também indicou que as áreas observadas são de grande oportunidade para maior compreensão do comportamento do C em solos de Cerrado, principalmente na região centro-oeste.

2.4 CONCLUSÕES

A prática do SPD por ao menos 10 anos pode diminuir a densidade do solo e aumentar os teores e estoques de C semelhantes ao da vegetação nativa ao longo dos anos na camada 0-40 cm de solo.

O SPC e a pastagem, quando degradada, podem promover diminuições nos teores de C e aumento da densidade do solo na camada 0-40 cm.

Sob SPD, maiores teores de argila podem proporcionar recuperação mais rápida do estoque de C original.

A consideração individual das áreas sob SPD avaliadas no período de médio 3 anos indicou taxa de acúmulo de C anual mais coerente, de $1,17 \text{ Mg ha}^{-1}$, quando considerado uma cronossequência, de $2,06 \text{ Mg ha}^{-1}$, devido possivelmente ao histórico e teor de argila das áreas. De qualquer forma torna-se evidente o potencial do SPD em aumentar os níveis de MOS nessa região do Cerrado.

3 EFEITO DE SISTEMAS DE MANEJO AGRÍCOLA NOS ESTOQUES DE C E N E NA AGREGAÇÃO DO SOLO EM RIO VERDE (GO)

Resumo

A agregação do solo é um dos principais processos responsáveis pela manutenção e aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS), contudo a degradação da estrutura do solo conduz a diminuições do tamanho dos agregados e perda de MOS por oxidação microbiana. Diferentes práticas de manejo podem afetar distintamente as propriedades do solo, incluindo os processos de agregação. O objetivo desse estudo foi verificar os efeitos de diferentes sistemas de manejo e uso do solo na agregação e nos teores e estoque de C e N em solo originalmente sob Cerrado. Amostras indeformadas de solo (0-5, 5-10 e 10-20 cm) foram coletadas em julho de 2006 (época seca) e fevereiro de 2007 (época chuvosa) em um Latossolo vermelho distrófico de textura argilosa (50-70% de argila) em Rio Verde (GO) (17°39'07''S e 51°06'49''O). As áreas consistiram um Cerrado nativo (CE), uma pastagem degradada com 20 anos (PA-20), um SPC com 29 anos (SPC-29) e dois SPD, com 10 e 15 anos, respectivamente (SPD-10 e SPD-15). Foram avaliados o estoque de C e N, a distribuição das classes de agregados estáveis em água (>2,00 mm, 2,00-0,25 mm, 0,25-0,05 mm e <0,05 mm), o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados, o C e N contido nos mesmos e a quantidade da fração leve livre da MOS. Os teores e estoques de C (0-20 cm), os teores de N e a quantidade MOS leve livre (0-5 cm) foram maiores nas áreas CE, SPD-10 e SPD-15. O solo apresentou uma elevada agregação, aproximadamente 70% de agregados >2,00 mm em todas as áreas e camadas avaliadas e foram semelhantes nas épocas seca e chuvosa. O CE e a PA-20 apresentaram o maior DMP e agregados >2,00 mm, sendo que os sistemas de plantio afetaram negativamente essas variáveis. Os SPD tiveram maior valor de DMP e agregados > 2,00 mm em comparação ao SPC e maiores quantidade de MOS leve livre (exceto SPD-10) e teores de C em todas as classes de agregados verificadas em comparação as demais áreas, exceto o CE (0-5 cm). Os teores de C, principalmente na classe de agregado >0,25 mm (0-5 cm), o DMP e estoque de C (0-20 cm) apresentaram correlação significativamente positiva. Dessa forma, as observações referentes ao C e a agregação do solo indicaram que a preservação e a manutenção da classe de agregados >0,25 mm foram processos fundamentais para os maiores níveis de C no CE, SPD-10 e SPD-15 encontrados. E a quantidade de MOS leve livre verificada, componente responsável pela manutenção dos agregados, concordam com a correlação observada. Na área PA-20, mesmo com elevada agregação do solo, provavelmente pela baixa produtividade da gramínea não houve disponibilidade suficiente de C (via MOS) para a manutenção das classes de agregados, acarretando no menor estoque de C em relação as demais áreas (exceto ao SPC-29). A mesma insuficiência de MOS ocorreu na área SPC-29, mas nesse caso devido ao revolvimento do solo que acelerou a oxidação da MOS, visto que o aporte de resíduos culturais na área é semelhante as sob SPD, por utilizarem a mesma sucessão de culturas. Os resultados verificados indicaram o efeito positivo da prática do SPD na manutenção dos agregados >0,25 mm, responsáveis pelos maiores estoques de C encontrados em relação a pastagem com baixa produtividade e a prática do SPC.

Palavras-chave: Cerrado, matéria orgânica do solo, agregados, sistema plantio direto

3 SOIL MANAGEMENTS EFFECT IN C AND N STOCKS AND SOIL AGGREGATION IN RIO VERDE (GOIÁS STATE, BRAZIL)

ABSTRACT

The soil aggregation is one of the main responsible processes for the maintenance and increase in soil organic matter (SOM) content, however the degradation of the soil structure leads to decreases the size of the soil aggregates and loss of SOM for the largest exhibition to the agents oxidizers. Different management practices can affect the properties of the soil distinctly, including the soil aggregation processes. The objective of this study was to verify the effects of different management systems and soil uses on the aggregation and on the SOM dynamics in an Oxisol (clayey Red Dystrophic Latosol), with 50-70% of clay originally under Savannah, in Rio Verde (Goiás state, Brazil). From different depths (0-5, 5-10 and 10-20 cm) were collected in July of 2006 (dry seasonal) and February of 2007 (rainy seasonal). The areas consisted a native system (CE) Savannah, a pasture degraded with 20 years (PA-20), a conventional till with 29 years (SPC -29) and two no till (SPD) areas, with 10 and 15 years, respectively (SPD-10 and SPD -15). The C and N sol stocks, the distribution of the classes of stable aggregates in water ($> 2,00$ mm, 2,00-0,25 mm, 0,25-0,05 mm and $< 0,05$ mm), the mean weighted diameter (MWD) of the aggregates, C and N contained in the same ones and the amount of the light free fraction from the SOM were appraised. The C contents and stocks (0-20 cm), the contents of N and the amount SOM take free (0-5 cm) were larger in the areas CE, SPD-10 and SPD -15. The soil presented a high aggregation with approximately 70% of aggregates > 2.00 mm in all areas and appraised layers and its were similar in dry and rainy seasonals. The CE and PA-20 areas introduced largest MWD and aggregates > 2.00 mm, and the planting systems affected negatively those variable. The SPD had larger value of MWD and aggregates > 2.00 mm in comparison with SPC and larger contents of C in all of the aggregates classes verified in comparison with the other areas, except to CE (0-5 cm). The soil C contents, mainly in aggregate class > 0.25 mm (soil layer 0-5 cm), MWD and soil C stock (0-20 cm) presented positive correlation. In that way, the observations regarding soil C and the soil aggregation indicated that the preservation and the maintenance of the aggregates > 0.25 mm went a fundamental processes to the largest levels of C in CE, SPD-10 and found SPD-15. The amount of light free fraction of SOM verified, responsible component for the maintenance of the aggregates and agree with the observed correlation. In the area PA-20, even with high aggregation of the soil, probably for the low productivity of the grassy there was not enough readiness of C (through SOM) for the maintenance of the classes of aggregates, carting a smallest C storage in relationship the other areas (except in SPC -29). The same inadequacy of SOM happened in SPC-29 area, but in that case due to the rotation of the soil that accelerated the SOM oxidation, because the contribution of cultural residues in the area is similar under SPD systems, for its use the same cultures succession. The verified results indicated the positive effect of SPD practice on the maintenance of soil aggregates > 0.25 mm, being it responsible for the largest C storages found in relation to PA-20 and to SPC -29.

Key words: Savannah, soil organic matter, aggregates, no-till

3.1 INTRODUÇÃO

A agregação do solo é um dos principais processos responsáveis pela manutenção e aumento no conteúdo de MOS (LAL et al., 1997), e conseqüentemente, a degradação da estrutura do solo conduz a sua redução (SIX et al., 1999).

Os agregados do solo protegem fisicamente a MOS contra a oxidação microbiana e suas relações vão além da interação com a fração mineral, mas também com a fauna do solo, microrganismos, raízes, óxidos de ferro e alumínio, como os principais fatores envolvidos na formação e estabilidade dos agregados (SIX et al., 2002).

Segundo Plante (2002), a relação entre a proteção física da MOS e a formação de macroagregados ($> 0,25$ mm) depende das condições da MOS. A entrada de resíduos vegetais estimula a reciclagem de agregados $> 0,25$ mm, os quais são importantes para a estabilização da MOS ao longo do tempo (DENEFF et al., 2007).

Portanto, a abundância de agregados $> 0,25$ mm sugere maior proteção do C contra a decomposição microbiana e sua quantidade pode ser usada como uma medida relativa na estabilidade de agregados em diferentes sistemas de manejo e uso do solo (SIX et al., 2000). Assim, a estabilidade de agregados tem sido usada como indicador da qualidade física do solo, devido a sensibilidade às alterações conforme o manejo adotado (BAISDEN et al., 2002).

Na maioria dos casos, a prática do Sistema Plantio Convencional (SPC) pelo uso intensivo do solo diminui a estabilidade dos agregados, sendo responsável pela redução do conteúdo de MOS. E as diferentes práticas de manejo podem afetar distintamente essa propriedade (ROTH; PAVAN, 1991; CASTRO FILHO et al., 1998; MADARI et al., 2005).

Práticas conservacionistas, como o sistema plantio direto (SPD) e pastagem, que revolvem menos o solo e recebem um maior aporte de resíduos orgânicos, geralmente têm-se mostrado eficientes em aumentar a estabilidade de agregados concomitante ao aumento dos

teores de C (CASTRO FILHO, 2002; PINHEIRO et al., 2004; SALTON, 2005; MADARI et al., 2005) e N (ASSIS et al., 2006) nos mesmos.

Apesar da elevada contribuição dos óxidos em solos de regiões tropicais no processo de agregação, que segundo TISDALL & OADES (1982) inibiria o papel da MOS, existem trabalhos de pesquisa que observaram relações entre a quantidade de C e a agregação do solo, porém essas pesquisas se concentram na região sul do Brasil (CASTRO FILHO, 2002; PINHEIRO et al., 2004; MADARI et al., 2005).

Mudanças na estrutura de Latossolos na região do Cerrado, onde predominam solos óxidos, associados aos teores de C e N são menos relatados na literatura disponível (CAMPOS et al., 1995; WESTERHOF et al., 1999; CORRÊA, 2002). Os quais observaram que o SPC devido ao revolvimento sistemático do solo, rompeu fisicamente os agregados > 2,00 mm com reflexo no aumento das classes de menor tamanho e conduziu a novas superfícies de contato e subsequente perda de MOS devido à oxidação microbiana em comparação ao solo sob vegetação nativa.

O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito de áreas submetidas ao SPD, a pastagem e ao SPC nos estoques de C e N e na agregação de um Latossolo vermelho no Cerrado em Rio Verde (GO). Correlações entre os índices de agregação e os teores de C nas classes de agregados do solo obtidas foram feitas para se determinar suas relações.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização e descrição da área

A descrição da área de estudo está apresentada no item 2.2.1 desta dissertação.

3.2.2 Escolha e caracterização das áreas

A escolha e caracterização das áreas estão descritas no item 2.2.2. Porém, nesse capítulo as áreas SPD-3 e SPD-7 não foram utilizadas.

3.2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado, pelas áreas estarem sob as mesmas condições edafo-climáticas, com parcelas subdivididas, constando de cinco áreas (tratamentos), com seis repetições.

3.2.4 Amostragem do solo

Efetuaram-se duas amostragens do solo, a primeira em julho de 2006 (época seca) e a segunda em fevereiro de 2007 (época chuvosa). Selecionou-se uma área com aproximadamente um há (100 x 100 m) em cada tratamento e foram coletadas amostras de solo em seis trincheiras (repetições), distantes dez metros entre si, até 20 cm de profundidade seccionada nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

As duas coletas consistiram na retirada de amostras indeformadas de solo com o auxílio de espátulas, sendo imediatamente acondicionadas em copos plásticos, para que não ocorresse o rompimento do monólito. Nessas amostras foram realizadas as determinações das classes de agregados estáveis em água, e apenas nas amostras da primeira coleta (julho de 2007) foram analisados os teores de C e N total nas classes de agregados obtidas e o fracionamento da MOS para a obtenção da fração leve livre.

3.2.5 Análises químicas e físicas

A distribuição das classes de agregados do solo estáveis em água foi determinada pelo método proposto por Carpenedo & Mielniczuk (1990), em 50 g de agregados com dimensão < 9,52 mm, num jogo de peneiras de malhas 2, 0,25 e 0,053 mm. Após 16 h de umedecimento, as amostras foram transferidas para o topo do jogo de peneiras imersas em cuba com água (YODER, 1936), sendo que o nível de água era suficiente para cobrir a

peneira no topo mais alto de oscilação. As amostras foram agitadas por 15 minutos a 42 oscilações por minuto, sendo posteriormente transferidas com auxílio de jatos de água para potes de porcelana e a fração de solo que transpassou a última peneira foi recolhida por sifonamento após 24 h de decantação. As amostras foram levadas para secagem em estufa por 48 horas a 45 C.

A quantidade de agregados do solo retido em cada peneira (2; 0,25 e 0,05 mm) e a fração de solo que transpassou a última peneira (0,05 mm) foram respectivamente denominadas: >2,00mm, 2,00-0,25mm, 0,25-0,05mm e <0,05mm.

A fração leve livre da MOS foi obtida pelo procedimento proposto por Sohi et al. (2001), em 5 g da amostra de solo que foi adicionada em frasco de centrífuga de 50 mL junto a 35 mL de iodeto de sódio (NaI, $d = 1,80 \text{ g cm}^{-3}$). O frasco foi centrifugado (15 min. à 18.000 RPM), em temperatura de 18 °C e a fração orgânica sobrenadante presente na solução (fração leve livre) foi succionada juntamente com a solução de NaI, separada por filtração a vácuo com filtros de fibra de vidro e seca a 65 °C.

Os teores de C, assim como os de N foram realizados conforme o item 2.2.5. Diferenças de textura entre as classes de agregados e o fato de que há pouca ou nenhuma ligação da MOS com as partículas de areia (ELLIOT et al., 1991), foi feita uma correção entre conteúdo de areia e os teores de C e N nas classes de agregados do solo.

3.2.6 Cálculo dos estoques de C e N e do diâmetro médio ponderado dos agregados do solo

Os estoques de C, assim como os de N foram realizados conforme o item 2.2.6.

O estado de agregação foi representado pelo diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados (equação 4).

$$\text{DMP} = \Sigma x y \quad (4)$$

Onde:

x: proporção de cada classe de agregados;

y: diâmetro médio do tamanho da classe (mm).

3.2.7 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância com as médias comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$) e as correlações lineares foram submetidas ao Teste t ($p < 0,01$ e $0,05$), utilizando o programa Assistat (SILVA, 2006).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.3.1 Teores e estoques de C e N

Os teores de C em todas as camadas de solo (0-5, 5-10, 10-20 cm) das áreas avaliadas estão apresentados na tabela 3.1. Os valores mostram decréscimo no perfil do solo, característica proporcionada pela MOS que se encontra mais concentrada na superfície, devido à deposição vegetal, com evidente diminuição nas camadas mais profundas.

Na camada 0-5 cm de solo foram observados maiores teores de C e N no CE (36,43 e 2,23 g kg⁻¹) e intermediários no SPD-10 (24,00 e 1,75 g kg⁻¹) e no SPD-15 (28,40 e 1,93 g kg⁻¹) (Tabela 3.1).

Apenas os teores de C nas camadas 5-10 e 10-20 cm de solo no SPD-10 (20,48 e 19,05 g kg⁻¹) e no SPD-15 (24,48 e 20,75 g kg⁻¹) não apresentaram diferenças em relação ao CE (19,95 e 21,25 g kg⁻¹) e foram maiores que o SPC-29 (18,60 e 15,98 g kg⁻¹) e a PA-20 (19,10 e 17,38 g kg⁻¹) (Tabela 3.1).

Entre a PA-20 e o SPD-29 foi verificada diferença estatística apenas na camada de solo 0-5 cm, com maior teor de C na pastagem (Tabela 3.1).

Os estoques de C (0-20 cm) seguiram a mesma tendência para os teores de C e foram significativamente maiores nas áreas CE (47,75 Mg ha⁻¹), SPD-10 (46,04 Mg ha⁻¹) e SPD-15 (46,63 Mg ha⁻¹), em relação a PA-20 (37,14 Mg ha⁻¹) e o SPC-29 (34,44 Mg ha⁻¹) (Figura 3.1). Enquanto não foi verificada diferença nos estoques de N entre as áreas (Figura 3.2).

Tabela 3.1 - Teores médios de C e N (n=6) do solo nas áreas e camadas avaliadas em Rio Verde (GO).

| Áreas ¹ | C | | | N | | |
|---------------------|-------------------|---------|---------|-------|-------|-------|
| | gkg ⁻¹ | | | | | |
| | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 0-5 | 5-10 | 10-20 |
| | cm | | | cm | | |
| CE | 38,93 a | 22,43 a | 19,95a | 2,23a | 1,20a | 1,33a |
| PA-20 | 21,25c | 18,58bc | 16,88bc | 1,38c | 1,23a | 1,18a |
| SPC-29 | 19,83 d | 17,08 c | 15,55c | 1,43c | 1,30a | 1,10a |
| SPD-10 | 26,58 b | 23,06a | 19,88a | 1,75b | 1,73a | 1,23a |
| SPD-15 [†] | 30,13 b | 22,98 a | 19,30a | 1,93b | 1,43a | 1,05a |

Médias (n=6) seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%. ¹CE: Cerrado nativo; PA-20: pastagem com 20 anos de implantação (*Brachiaria decumbens*); SPC-29: sistema plantio direto com 29 anos de implantação (soja/milho); SPD-3, SPD-7, SPD-10 e SPD-15: sistema plantio direto (soja/milho) com, respectivamente, 3, 7, 10 e 15 anos de implantação. [†]Precedido durante 5 anos sob pastagem.

Os maiores estoques de C (0-20 cm) nas áreas sob SPD em relação às demais áreas avaliadas indicaram o benefício da prática do SPD em proporcionar maior quantidade de MOS. E pelas áreas SPD-10 e SPD-15 não apresentarem diferenças estatísticas em relação ao solo sob vegetação nativa conclui-se que essas áreas alcançaram o nível original de C em, ao menos, 10 anos sob esse sistema (Figura 3.1).

Os resultados observados nas áreas sob SPD podem ser atribuídos a característica desse sistema, baseado na adição e manutenção dos resíduos vegetais na superfície e ao não revolvimento do solo, que diminui a taxa oxidação e promove maior proteção física da MOS

no interior de agregados, com conseqüente aumento de C (BAYER et al., 2006; METAY et al., 2007).

Estoques de C sob SPD semelhantes à vegetação nativa e maiores que sob SPC e pastagem (geralmente degradadas) em Latossolos da região do Cerrado são relatados com freqüência (SILVA et al., 2004; SIQUEIRA NETO, 2006; BERNOUX et al., 2006; BAYER et al., 2006; CARVALHO et al., 2007; METAY et al., 2007).

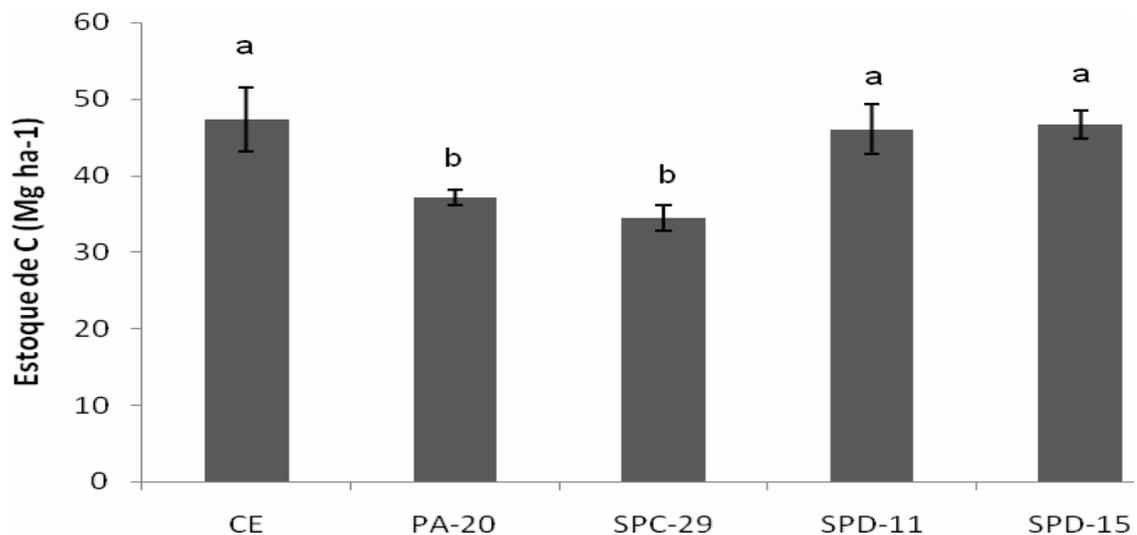


Figura 3.1 - Estoque médio de C do solo (0-20 cm) e desvio padrão (n=6), corrigido pela massa fixa (4000 Mg ha⁻¹). Médias com a mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Metay et al. (2007) avaliando diferentes sistemas de manejo em Latossolo no Cerrado em Goiânia (GO) verificaram maior estoque de C (0-20 cm) sob SPD (22,29 Mg C ha⁻¹) em relação a um SPC (19,94 Mg C ha⁻¹) com, respectivamente, 11 e 24 de implantação.

Avaliando o efeito de sistemas de manejo em um Latossolo vermelho do Cerrado, Bayer et al. (2006) encontraram estoque de C (0-20 cm) superior em um SPD (57,30 Mg ha⁻¹) com 5 anos, em relação ao solo sob CE (54,00 Mg ha⁻¹) e um SPC (54,30 Mg ha⁻¹).

Ao contrário do SPD, área SPC-29 indicou que as práticas convencionais de cultivo, baseadas na aração e gradagem, estimularam a oxidação da MOS com conseqüente perda de

C, refletindo em um dos menores estoques de C observados ($34,44 \text{ Mg ha}^{-1}$) em relação às demais áreas, sendo 26% menor que em relação ao CE (Figura 3.1). Esse resultado concorda com os verificados por outros por outros pesquisadores em Latossolos do Cerrado, como Corazza et al. (1999) e Jantalia et al. (2006).

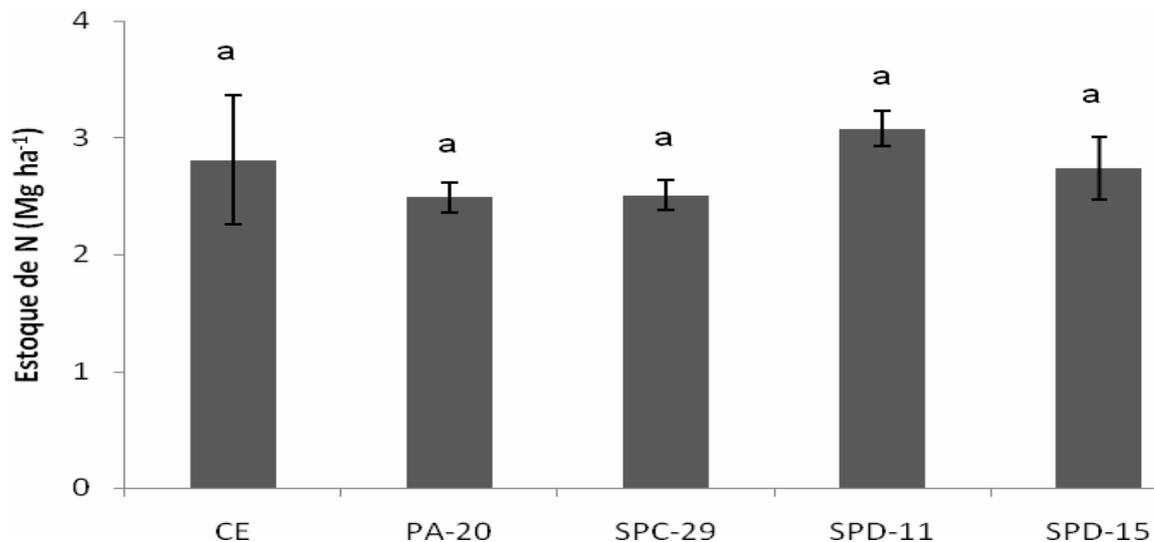


Figura 3.2 - Estoque médio (n=6) de N do solo (0-20 cm) e desvio padrão, corrigido pela massa fixa (4000 Mg ha^{-1}). Médias com a mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Jantalia et al. (2006) relataram diminuição de aproximadamente 39% do estoque de C (0-30 cm) em um Latossolo argiloso sob SPC ($64,8 \text{ Mg ha}^{-1}$), em 20 anos de uso, em relação a área sob Cerrado nativo ($96,6 \text{ Mg ha}^{-1}$). E justificaram que essa diminuição se deveu ao revolvimento do solo que estimulou a oxidação da MOS.

O menor estoque de C na área PA-20, junto ao SPC-29 (Figura 3.1), se deve provavelmente à baixa produtividade da gramínea, ao pastejo intensivo e a ausência de manejo. Além do cultivo por 9 anos sob SPC antecedido pela pastagem, que provavelmente contribuiu para a perda de C com reflexo nos menores valores de C observados.

Em relação ao Cerrado foi verificado na área PA-20 estoque de C (0-20 cm) 21% menor (Figura 3.1). Outros autores estudando áreas de pastagens em regiões tropicais encontraram percentuais de perda próximos ao observado na presente pesquisa.

Moraes (1991) estudando uma cronossequência de introdução de pastagens em Rondônia, observou uma diminuição de 25% do estoque de C original (0-20 cm) após 20 anos de uso. Veldkamp (1994) estudando áreas com pastagens na Costa Rica, encontrou nos valores do estoque de C (0-40 cm) perdas de 20% nos estoques de C após 25 anos de uso quando comparado a vegetação nativa.

Áreas sob pastagens de *Brachiária* sp. quando bem manejadas podem ser importantes sítios de seqüestro de C no solo, em função da produção de grande quantidade de matéria seca e, principalmente, devido à intensa renovação de seu sistema radicular abundante e perene (SALTON, 2005).

Nem mesmo a reforma na área de pastagem (dois meses antes da coleta) indicou aumento no estoque de C e espera-se que isso ocorra em um período maior de tempo. Fato também observado por Noronha (2005) em experimento de recuperação de pastagens em um Latossolo vermelho no Estado de Rondônia.

Noronha (2005) encontrou aumento significativo no estoque de C na camada 0-30 cm de solo (de 44 para 55 Mg ha⁻¹) em uma pastagem após 28 meses da reforma, que foi semelhante ao do presente estudo, com gradagem, NPK e micronutrientes. O autor ainda relata aumento no estoque de C em pastagens com 9 meses após a reforma, quando o pasto foi submetido ao SPD com arroz, NPK e micronutrientes (de 45 para 53 Mg ha⁻¹) e 12 meses após a reforma, quando submetido ao SPD com soja, PK e micronutrientes (de 47 para 64 Mg ha⁻¹).

Dessa forma, é possível que outro manejo na área PA-20 poderia ter sido mais adequado para acelerar o aumento nos teores e estoques de C.

A análise da fração da MOS leve livre trouxe informações importantes que corroboram com os resultados dos estoques de C observados. Os maiores estoques de C nas áreas CE, SPD-15 e SPD-10 foram acompanhados por uma maior quantidade significativa de MOS leve livre na camada 0-5 cm de solo e intermediário na área SPD-10 (não significativo). Enquanto a baixa produtividade da gramínea na área PA-20 e a provável acentuada oxidação da MOS no SPC-29 foi evidenciada pelos menores valores (Figura 3.3).

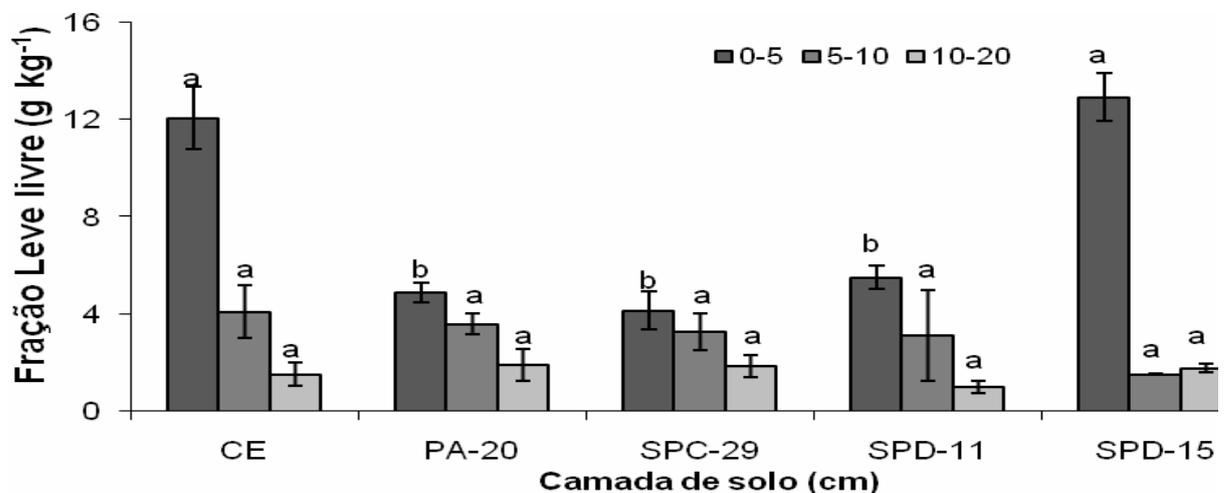


Figura 3.3 - Fração leve livre (g kg⁻¹) nas camadas de solo avaliadas. Os valores representam a média (n=6) \pm dp. Médias com letras iguais na mesma camada não diferem significativamente pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Esses resultados concordam com os reportados por Skjemstad & Dalal (1987) e Pinheiro et al. (2004), que também verificaram acúmulo de fração leve livre favorecido em solos continuamente vegetados com retorno de palhada (solos florestais, pastagens bem manejadas e SPD).

Em Paty do Alferes (RJ) sob Latossolo vermelho, a avaliação da fração leve livre diferiu significativamente (0-5 cm) e foi maior na vegetação nativa de gramíneas (0,9 g kg⁻¹) em relação a uma área sob cultivo mínimo (0,2 g kg⁻¹), que por sua vez foi maior que sob o SPC (0,1 g kg⁻¹) (PINHEIRO et al., 2004). Os autores concluíram que a fração leve livre foi

sensível à degradação pelo cultivo, podendo ser utilizada como indicador da diminuição do conteúdo de MOS.

Os resultados do presente trabalho indicaram que a análise da fração leve livre pode ser bastante útil na pesquisa da dinâmica da MOS. E provavelmente essa fração na PA-20, assim como no SPC-29, estava sendo afetada muito antes da diminuição do estoque de C, o que poderia ter sido evitado com antecedência, como a aplicação do manejo do solo.

Os estoques de N (Figura 3.2) não apresentaram diferenças significativas entre os sistemas estudados, concordando com D'andréa et al. (2004) em Morrinhos (GO) e Miranda (2007) em Sorriso (MT), que pesquisando sobre o efeito de diferentes sistemas de manejo do solo, também não detectaram diferenças entre um SPD, SPC e pastagem em relação ao estoque de N.

Segundo Passos et al. (2007), a maior restrição a aeração promovida por solos cultivados pode favorecer o acúmulo de N pela redução da mineralização da MOS em relação ao solo sob Cerrado nativo. O que poderia justificar os estoques de N semelhantes entre as áreas avaliadas.

Outra possível explicação estaria na complexidade do ciclo do N, que torna difícil a determinação das relações de causa e efeito apenas com medições pontuais (MIRANDA, 2007).

3.3.2 Distribuição das classes de agregados do solo

As Figuras 3.4 e 3.5 mostram as médias, respectivamente, da distribuição dos agregados estáveis em água e do DMP nas épocas seca e chuvosa (sem diferenças significativas). Em todas as áreas e camadas de solo avaliadas indicou predominância das classes de agregados > 2,00 mm e 2,00-0,25 mm (acima de 77%) (Figura 3.4). Os valores de DMP, entre

4,0 e 2,0 mm (Figura 3.5), seguiram a tendência encontrada para os agregados > 2 mm, apresentando coeficiente de correlação significativa ($p < 0,01$) (Tabela 3.3).

A predominância de agregados nas classes > 2,00 mm e 2,00-0,25 mm indicaram alta estabilidade de agregação, concordando com as observações feitas por outros pesquisadores avaliando diferentes sistemas de manejo para Latossolos vermelhos de região tropical (WESTERHOF et al., 1999; CASTRO FILHO et al., 2002; PINHEIRO et al., 2004).

Pinheiro et al. (2004) relataram em média valores de 40% de agregados > 2,00 mm e 2,00-0,25 mm e DMP entre 4 e 2 mm, sob diferentes sistemas de manejo (SPD, SPC e pastagem) sob Latossolo vermelho em Paty do Alferes (RJ), corroborando com o observado no presente trabalho.

A alta estabilidade de agregação verificada se deve principalmente a interações eletrostáticas entre as partículas minerais de argila com metais polivalentes, principalmente óxidos de Fe e Al, predominante em solos de regiões tropicais (ZOTARELLI et al., 2007).

Admitindo agregação do solo máxima sob vegetação nativa em condição original (SIX et al., 2002), foi observado que os sistemas de cultivo afetaram negativamente a quantidade de agregados > 2,00 mm, com reflexo nas demais classes, e conseqüentemente, no DMP (Figuras 3.4 e 3.5).

A exceção foi à pastagem, que apresentou quantidades de agregados > 2 mm (60%), 2,00-0,25 mm (20%) e valores de DMP (4,0) semelhantes ao sistema nativo, nas três camadas avaliadas e significativamente maiores em relação às demais áreas ($p < 0,05$), exceto para a classe 2,00-0,25 mm (Figuras 3.4 e 3.5).

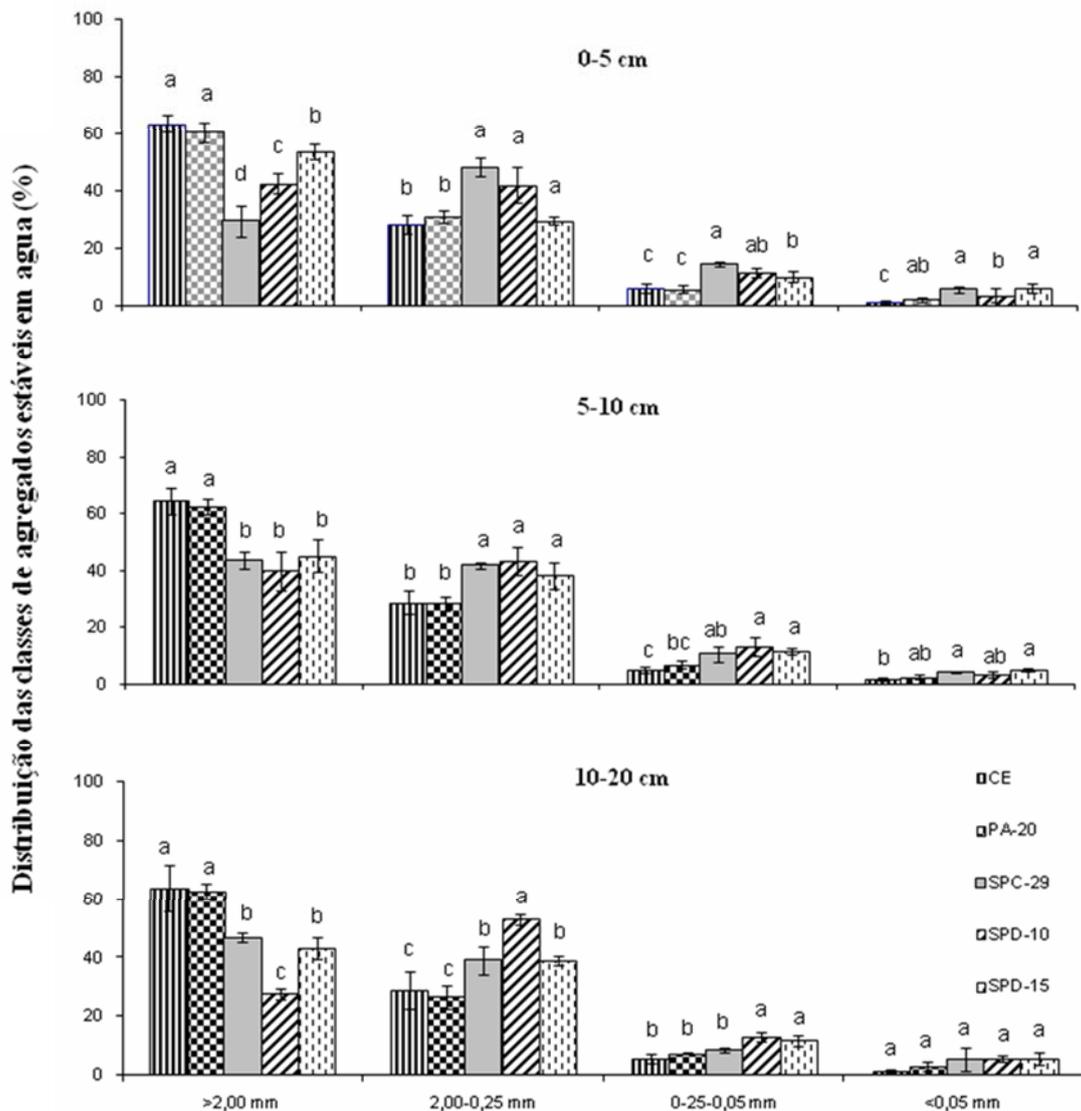


Figura 3.4 - Distribuição das classes de agregados do solo nas áreas e camadas avaliadas em Rio Verde (GO). Os valores representam a média (n=6) \pm dp. Médias com a mesma em cada classe de agregado não diferem significativamente pelo Teste de Tukey ($p<0,05$).

Na PA-20 a agregação do solo (Figuras 3.4 e 3.5) observada sugeriu que o cultivo da gramínea pôde manter ou até mesmo recuperar os índices de agregação. Pois, provavelmente a área sob pastagem havia perdido sua agregação original pelo cultivo durante os 9 anos sob SPC pelo qual antecedeu a pastagem, pois é sabido que essa prática proporciona menores índices de agregação devido ao revolvimento do solo (CORAZZA et al., 1999; JANTALIA et al., 2006).

A elevada agregação do solo sob pastagem em relação às demais áreas está de acordo aos também verificados por Fregonesi et al. (2001), que encontraram 96% de agregados com diâmetro entre 1,00 e 4,00 mm Latossolo argiloso (0-5 cm). E Alvarenga & Davide (1999), que verificaram 80% de agregados maiores que 2,00 mm em um Latossolo vermelho-escuro (0-10 cm).

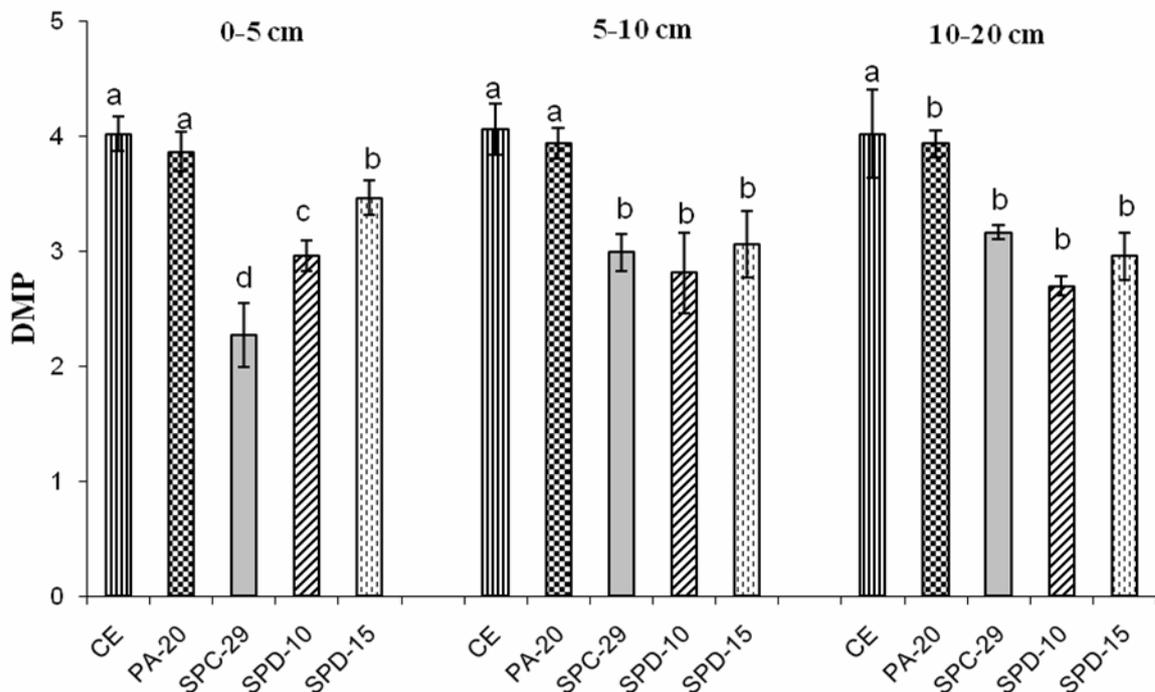


Figura 4.5 - Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do solonas áreas e camadas avaliadas em Rio Verde (GO). Os valores representam a média (n=6) \pm dp. Médias com a mesma em cada camada de solo diferem significativamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Pereira (1996) comparando sistemas de manejo (Cerrado, pastagem e SPD), em um Latossolo Vermelho-escuro argiloso de Planaltina – DF, concluiu que o mecanismo de formação de agregados pela pastagem parece ser o mais eficiente, por ter apresentado os maiores percentuais de agregados maiores $> 2,00$ mm e valores intermediários de C do solo; concordando com a presente pesquisa.

Segundo Salton (2005), altos índices de agregação em solo sob pastagens ocorrem devido à maior proliferação de raízes das gramíneas que favorecem a granulação do solo,

agrupando as partículas do solo fisicamente, contribuindo para a elevada estabilidade de agregação.

Tabela 3.3 - Correlação simples entre as classes e do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) do solo das áreas e camadas avaliadas em Rio Verde (GO).

| Variáveis | > 2,00 ¹ | 2,00>0,25 | 0,25<0,05 | < 0,05 | DMP |
|---------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 0-5 cm | | | | | |
| > 2,00 ² | 1 | - 0,96** | - 0,97** | - 0,68* | 0,99** |
| 2,00 < 0,25 | 1 | 1 | 0,87** | 0,47* | - 0,95** |
| 0,25 < 0,05 | 1 | 1 | 1 | 0,82 ** | - 0,97** |
| < 0,05 | 1 | 1 | 1 | 1 | - 0,71** |
| DMP | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5-10 cm | | | | | |
| > 2,00 | 1 | - 0,99** | - 0,97** | - 0,82 ** | 0,80 ** |
| 2,00 < 0,25 | 1 | 1 | 0,94** | 0,76** | - 0,69* |
| 0,25 < 0,05 | 1 | 1 | 1 | 0,79** | - 0,89** |
| < 0,05 | 1 | 1 | 1 | 1 | - 0,81** |
| DMP | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10-20 cm | | | | | |
| > 2,00 | 1 | - 0,99** | - 0,94** | - 0,89** | - 0,62* |
| 2,00 < 0,25 | 1 | 1 | - 0,87** | 0,82** | - 0,56* |
| 0,25 < 0,05 | 1 | 1 | 1 | 0,89** | - 0,71** |
| < 0,05 | 1 | 1 | 1 | 1 | - 0,58* |
| DMP | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

^{1,2}classes de agregados do solo em mm. ns: não significativo. * significativo ao nível de 5%. **significativo ao nível de 1%. n=6.

As classes de agregados 2,00-0,25 e 0,25-0,05 mm observadas (Figura 3.4) tiveram maior quantidade nos sistemas agrícolas e apresentaram correlações negativas com a classe de agregados >2,00 mm (Tabela 3.3). Indicando que a perda de agregados > 2 mm pela introdução da agricultura conduziu a um aumento de agregados 2,00-0,25 e 0,25-0,05 mm, principalmente no SPC-29, possivelmente ao maior distúrbio no solo causado por esse sistema.

Entre os sistemas agrícolas foram verificadas diferenças significativas apenas na camada 0-5 cm com maiores valores das classes de agregados >2,00mm e DMP para

o SPD-15 (50% e 3,5), intermediário para o SPD-10 (40% e 3,0) e menores para o SPC-29 (30% e 2,0). Em relação ao sistemas agrícolas o SPD-10 e o SPD-15 indicaram, em média, resultados 30 e 40% superior ao SPC (Figuras 3.4 e 3.5).

Segundo Eltz et al. (1989), o SPD proporciona maior tamanho de agregados estáveis, quando comparado com o SPC, possivelmente devido a não-destruição mecânica dos agregados pelos implementos de preparo do solo, e à proteção que a palha oferece à superfície do solo, estando de acordo com o verificado na presente pesquisa.

Esses resultados concordam e são semelhantes aos verificados por Pinheiro et al. (2004) que verificaram a distribuição de agregados estáveis em água e relataram, além da alta concentração de agregados $> 2,00$ mm em todos os tratamentos, aumento dos agregados de menor tamanho com a introdução de cultivos agrícolas em áreas inicialmente sob vegetação nativa.

Os autores observaram diferenças significativas para a classe de agregado $> 2,00$ mm e DMP na vegetação nativa (70% e 4,0) e em área sob SPD (50% e 3,0) em comparação com um SPC (30% e 2,0), principalmente na camada.

Corrêa (2002), em Latossolo vermelho de Cerrado em Querência (MT) relatou (0-15 e 15-30 cm) em área sob SPD (2 anos) porcentagem de agregados $> 2,00$ mm de 36%, enquanto sob SPC (5 anos) de 22%.

Campos et al. (1995) encontraram cerca de 50% de agregados $> 4,76$ mm em Latossolo vermelho sob SPD, enquanto no SPC a maior concentração de agregados foram de 1,00-0,21 mm. Alvarenga et al. (1986) concluíram que a manutenção dos restos culturais sobre a superfície do solo favoreceu o desenvolvimento de agregados $> 2,00$ mm, resultados que estão de acordo com os resultados obtidos no presente trabalho.

Portanto, o SPD pelo não revolvimento do solo e adição de palhada sobre a superfície podem deter o declínio da qualidade estrutural dos solos cultivados, bem como possivelmente promover a recuperação dos já degradados.

3.3.3 C e N nas classes de agregados do solo

Assim como a distribuição, o teor de C e N das classes de agregados estáveis em água entre as áreas avaliadas apresentou diferenças significativas predominantemente na camada 0-5 cm de solo (Tabela 3.2). Nessa camada, os teores de C foram maiores sob CE e SPD-15 em relação às demais áreas em todas as classes de agregados avaliadas. Na área PA-20 (exceto nas classes 0,25-0,05 mm e < 0,05 mm) e no SPD-10 foram observados valores intermediários (Tabela 3.2).

Na camada 5-10 cm de solo foram verificados os maiores teores de C na classe 2,00-0,25 mm sob SPD-10 em relação a PA-20, e nos 0,25-0,05 mm, maior valor no SPD-15 (Tabela 3.2).

Com relação aos teores de N nas diferentes classes de agregados do solo, foram observados maiores teores na camada 0-5 cm sob CE e SPD-15 nas classes de agregados > 2,00 mm e 2,00-0,25 mm e menores na PA-20. Na camada de solo 5-10 cm os maiores valores foram encontrados no SPC-29 em relação a PA-20 em todas as classes e em relação ao SPD nas classes de agregados >2,00 mm (Tabela 3.2).

As diferenças nos teores de C e N nos agregados (Tabela 3.2), assim como na fração da MOS leve livre (Figura 3.3), indicaram que as diferentes práticas de manejo afetaram principalmente a camada 0-5 cm de solo. E concordam com os verificados por Six et al. (2000), Castro-Filho et al. (2002), Pinheiro et al. (2004), Madari et al. (2005), Assis et al. (2006) e Onweremadu et al. (2007).

Madari et al. (2005) verificaram similar agregação e diferenças significativas nos teores de C nos agregados do solo (0-5 cm) entre um SPD e um SPC (ambos com mais de 10 anos) sob Latossolo vermelho (78% de argila em média) em Londrina (PR). Os pesquisadores relataram maiores teores de C em agregados > 2,00, 2,00-0,25 e 0,25-0,05 mm no CE (respectivamente 45, 64 e 61 g kg⁻¹), seguido do SPD (respectivamente 25, 25 e 27 g kg⁻¹), com menores teores no SPC (18, 18 e 18 g kg⁻¹).

Tabela 3.2 Teores de C e N do solo nas classes de agregados das áreas avaliadas em Rio Verde (GO). Os valores representam a média (n=6) ±dp.

| Áreas ¹ | C | | | | N | | | |
|---------------------|---------|-----------|-----------|---------|--------|-----------|-------------------|---------|
| | > 2,00 | 2,00>0,25 | 0,25<0,05 | < 0,05 | > 2,00 | 2,00>0,25 | 0,25<0,05 | < 0,05 |
| 0-5 cm | | | | | | | | |
| CE | 53,44 a | 58,17 a | 31,83ab | 53,60 a | 3,10 a | 3,67 a | 2,13ab | 2,80 a |
| PA-20 | 34,80 b | 37,17 b | 23,00 c | 31,80 b | 1,67 b | 1,97 b | 1,37 b | 1,37 c |
| SPC-29 | 30,25 c | 34,70 c | 26,47 b | 32,70 b | 2,17 b | 2,17 b | 2,03ab | 2,43 ab |
| SPD-10 | 35,25 b | 39,03 b | 28,23 b | 32,80 b | 1,87 b | 2,37 b | 1,43b | 2,20 b |
| SPD-15 [†] | 43,99 a | 46,60 a | 40,53 a | 42,93 a | 2,70 a | 2,70 ab | 2,63 ^a | 2,67 ab |
| 5-10 cm | | | | | | | | |
| CE | 33,53 a | 35,23ab | 21,71 b | 30,07 a | 2,20ab | 2,20 a | 1,40 b | 1,83ab |
| PA-20 | 28,56 a | 30,54b | 23,21 b | 31,33 a | 1,47 c | 1,67 b | 1,33 b | 1,53 b |
| SPC-29 | 36,25 a | 35,66ab | 27,20ab | 26,50 a | 2,73 a | 2,57 a | 2,03 a | 2,00 a |
| SPD-10 | 27,75 a | 39,02a | 27,46ab | 26,30 a | 1,70bc | 2,23 a | 1,67ab | 2,07 a |
| SPD-15 | 37,42 a | 31,87ab | 33,58 a | 30,13 a | 2,00bc | 1,57 b | 1,83 a | 1,50 b |
| 10-20 cm | | | | | | | | |
| CE | 32,82 a | 29,58 a | 21,79 b | 36,90 a | 2,07 a | 1,83 a | 1,33 a | 1,73ab |
| PA-20 | 27,46ab | 26,27 a | 23,96 b | 24,87 a | 1,30 b | 1,30 b | 1,30 a | 1,27 b |
| SPC-29 | 29,38ab | 30,47 a | 22,96 b | 28,33 a | 1,90ab | 1,70ab | 1,57 a | 1,60 b |
| SPD-10 | 24,22 b | 30,35 a | 22,07 b | 26,37 a | 1,30 b | 1,63ab | 1,60 a | 2,67 a |
| SPD-15 [†] | 31,92 a | 29,86 a | 31,31 a | 29,93 a | 1,67ab | 1,47ab | 1,43 a | 1,60 b |

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%. ¹CE: Cerrado nativo; PA-20: pastagem com 20 anos de implantação (*Brachiaria decumbens*); SPC-29: sistema plantio direto com 29 anos de implantação (soja/milho); SPD-3, SPD-7, SPD-10 e SPD-15: sistema plantio direto (soja/milho) com, respectivamente, 3, 7, 10 e 15 anos de implantação. [†] Precedido durante 5 anos sob pastagem.

Em solo de região temperada, caracterizado pela mistura de argila do tipo 1:1 e 2:1, localizado em Lexington (Kentucky, USA), Six et al. (2000) também encontraram nos agregados 2,00-0,25 e 0,25-0,05 mm (0-5 cm) maior teor de C no sistema nativo (41,84 e 39,70 g kg⁻¹), intermediários no SPD (26,34 e 25,76 g kg⁻¹) e inferiores no SPC (12,09 e 14,56 g kg⁻¹).

Ambas as áreas pesquisadas por Six et al. (2000) foram cultivadas por 50 anos sob SPC, sucedidas por pastagem (bluegrass pasture) e por fim o manejo relatado pelos pesquisadores com 24 anos de implantação.

Pinheiro et al. (2004) também encontraram teores de C nos agregados > 2,00 mm (0-5 e 5-10 cm) significativamente maiores sob vegetação nativa (pasto natural) e em um SPD (ambos com 20 e 17 g kg⁻¹) em relação a um SPC (15 e 12 g kg⁻¹). Concordando com a presente pesquisa no que se refere, também, a recuperação dos teores de C no SPD semelhantes ao solo sob vegetação nativa.

Os autores citados concluíram que o aumento da intensidade de cultivo do solo induziu a perda de C em agregados 2,00-0,25 macroagregados, resultando em menores estoques de C, estando de acordo com resultados observados na atual pesquisa. E que os maiores teores de C sob SPD se devem a incorporação de materiais orgânicos em agregados, principalmente nos agregados > 2,00 e 2,00-0,25 mm, que estabilizou a MOS.

Os resultados da presente pesquisa, referentes aos teores de C nos agregados do solo, salientam a importância da MOS leve livre (MOS recente) nos maiores estoques e teores de C, que seguiram a mesma tendência (Figuras 3.1 e 3.3 e Tabela 3.2). Pois de acordo com Six et al. (1999), o processo de acúmulo de C é iniciado com a entrada de MOS recentemente incorporada nos agregados >2,00 mm.

Enquanto nas áreas PA-20 e, principalmente, SPC-29, a MOS contida nas classes de agregados (0-5 cm) provavelmente sofreram ação dos organismos decompositores e como sob

essa área, ao contrário do SPD e CE, possivelmente não houve a manutenção de resíduos culturais (MOS) em superfície, e a incorporação de materiais orgânicos nos agregados do solo ficou debilitada resultando em menores teores de C nos agregados de maior tamanho ($>0,25$ mm), assim como para os estoques de C relatado acima.

Os resultados observados por Madari et al. (2005), Pinheiro et al. (2004) e Six et al. (2000) concordaram com o presente estudo embora com teores de C inferiores.

Nas duas primeiras pesquisas citadas pode ser devido ao ajuste dos valores proporcionalmente ao teor de areia contido nas classes de agregados não ter sido feito, que elevaria os valores dos teores de C.

A pesquisa realizada por Six et al. (2000), mesmo com a ponderação entre os teores de areia e de C feitos pelo pesquisador, que provavelmente se devem a localidade das áreas, em clima temperado, onde a mineralização da MOS é mais lenta em relação a áreas de clima tropical, foi proporcionando menores teores de C no solo.

E as perdas relatadas de C e N nos agregados do solo pelos autores citados acima foram maiores aos observados e, ao contrário da presente pesquisa, a introdução do SPD a mais de 10 anos ainda não foi suficiente para alcançar os teores de C originais dos agregados do solo.

Os maiores teores de N verificados nos agregados da camada 0-5 cm de solo sob CE e SPD-15 possivelmente se devem aos elevados teores de MOS nessa camada sob esses sistemas, evidenciados pelos teores de C (Tabela 3), sabendo-se que 95% do N no solo, segundo Camargo et al. (1999), provem da MOS.

São poucas as pesquisas envolvendo os teores de N em classes de agregados do solo, sendo dessa forma escassas as informações sobre o comportamento desse elemento na dinâmica de agregação.

Os resultados dos teores de N nos agregados do solo (Tabela 3) concordam com os observados por Assis et al. (2006), que avaliaram as mudanças nas formas de C e N em agregados de um Latossolo Vermelho em Capinópolis (MG), sob SPD recente (4 anos antecedido por 30 anos sob SPC) comparado ao SPC cultivado a mais de 30 anos.

Os autores relataram que os maiores teores de N observados nos agregados $> 2,00$ e $2,00-0,25$ mm sob Cerrado nativo pode indicar recente aporte de material orgânico nesses agregados. E que o SPC proporcionou aumento do N nos agregados $0,25-0,05$ mm (0-5 cm), semelhantemente ao observado para os teores de C. Enquanto o SPD aumentou o N nos agregados de $4,00-2,00$ mm (10-20 cm) em apenas 4 anos de implantação, comparativamente aos agregados sob SPC.

Assis et al. (2006) ainda observaram que em comparação ao SPD, o SPC aumentou os teores de N da fração humina nos agregados $0,25-0,05$ mm na superfície do solo (0-5 cm), enquanto nas camadas subseqüentes esse aumento ocorreu em todas as classes de agregados. O aumento do N em profundidade pode estar relacionado à incorporação de resíduos culturais com o revolvimento do solo em SPC, concordando com a presente pesquisa embora observado apenas na camada 5-10 cm de solo.

Passos et al. (2007) em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico, relataram maiores teores de N (15-20 cm) sob SPC (com 30 anos) em relação ao Cerrado nativo, em Sete Lagoas (MG). Os autores justificaram o fato pela incorporação de resíduos vegetais, aliado a maior restrição à aeração nessa profundidade, acentuada pela camada mais compactada presente a partir de 10 cm de profundidade no solo cultivado, que tendeu a favorecer o acúmulo de N, concordando com o presente trabalho (Tabela 3.2).

Os teores N em agregados do solo (Fluvisolo - 15% de argila) na Nigéria foram maiores sob cultivo mínimo em relação ao SPC (ONWEREMADU et al., 2007). Os autores também relataram que quanto maior o distúrbio do solo maior a quebra de agregados de classes

maiores e conseqüentemente a exposição do N da MOS é provavelmente perdido por lixiviação e volatilização.

Dessa forma, os resultados indicaram que o SPD-15, provavelmente ao com longo período de implantação (15 anos), promoveu maiores teores de N em agregados > 2,00 e 2,00-0,25 mm (0-5 cm) em relação aos demais sistemas (exceto o CE), acompanhando a tendência observada para os teores de C nessas classes (Tabela 3.2).

3.3.4 Agregação do solo e acúmulo de C

A relação entre agregação do solo e teores de C foi evidenciada quando se observou que 80% do teor de C do solo foram provenientes das classes de agregados > 2,00 e 2,00-0,25 mm em todas as camadas de solo avaliadas (Tabela 3.3), enfatizando a relação entre os agregados do solo e a proteção da MOS. Indicando que a preservação dessas classes de maior tamanho é importante para o acúmulo e conseqüente aumento no estoque de C.

Foram verificadas correlações positivas nas camadas de solo avaliadas (principalmente na 0-5 cm) entre o teor de C nas classes de agregados (entre 77** e 67**), DMP (47*) e o estoque de C (Tabela 3.4). Esses resultados indicaram que o teor de C contido nessas classes diferenciou e conduziu aos maiores de estoques de C encontrados no CE, SPD-10 e SPD-15. Além de sugerir que quanto mais elevado a quantidades de agregados > 2,00 mm, e conseqüentemente do valor do DMP, maior foi o teor de C verificado.

A exceção foi à área PA-20 com elevada quantidade de agregados >2,00 mm e teor de C inferior as demais áreas. Esse fato evidenciou além do papel dos óxidos na agregação do solo e ao efeito positivo do sistema radicular da gramínea na agregação do solo por meios físicos, a baixa produtividade da gramínea que não disponibilizou suficiente C (via MOS) para a manutenção das classes de agregados. Esse fato pode ter levado ao menor estoque de C na PA-20 em relação as demais áreas (exceto ao SPC-29).

A mesma insuficiente quantidade de C no solo sob PA-20 pode ter ocorrido na área SPC-29, mas nesse caso devido ao revolvimento do solo que acelerou a oxidação da MOS.

Segundo Oades (1984), o intenso cultivo do solo, por favorecer maior taxa de oxidação, resulta na diminuição do teor de C do solo associado à redução na estabilidade da classe >2,00 e 2,00-0,25 mm.

Madari et al. (2005) reportaram correlação entre o DMP (0,80) e os teores de C (0-5 cm), indicando que os maiores teores de C acompanharam o aumento da quantidade das classes de maior tamanho, concordando com o presente trabalho.

O mesmo foi encontrado por Onweremadu et al. (2007) que relataram correlações significativas entre o DMP e o teor de C e entre o teor de C e as classes de agregados 4,75–2,00 e 2,00–1,00 mm, concluindo esse tendência foi importante na existência dessas classes de agregados.

Tabela 3.4 - Correlação simples entre o teor e estoque de C (0-20 cm) e do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) do solo das áreas e camadas avaliadas em Rio Verde (GO).

| | Classes de agregados | | | | DMP |
|---------------------|----------------------|-----------|-----------------|--------|-------|
| | > 2,00 | 2,00>0,25 | 0,25<0,05 | < 0,05 | |
| | | | 0-5 cm | | |
| Estoque de C | 0,77** | 0,74** | 0,69** | 0,67** | 0,47* |
| DMP | 0,72** | 0,66** | 0,47* | 0,72** | - |
| | | | 5-10 cm | | |
| Estoque de C | ns | ns | ns | ns | ns |
| DMP | ns | -0,50* | -0,76** | 0,78** | - |
| | | | 10-20 cm | | |
| Estoque de C | ns | 0,34* | Ns | 0,54* | ns |
| DMP | 0,43* | -0,50* | -0,32* | ns | - |

ns: não significativo. * significativo ao nível de 5%. **significativo ao nível de 1%. n=6.

Castro filho et al. (1988) constataram que o maior teor de C devido ao aporte de resíduos vegetais e o não revolvimento do solo no SPD em relação ao SPC, ocasionaram o aumento do DMP e das classes de agregados >0,25 mm no solo; considerando-se que a MOS

doi um dos principais agentes de agregação, e que parte da variação dos índices de agregação podem ser atribuídos as variações dos teores de C.

Six et al. (2000) relataram que a teoria de agregação do solo segundo Tisdall e Oades (1986) não foi tão expressiva em uma área com predomínio de argila do tipo 1:1 (caolinita) em relação à outra área com argila do tipo 2:1 (montmorilonita). Atribuíram esse fato a elevada concentração de óxidos na primeira área. Da mesma forma, concluíram que houve nítida relação entre a perda de estrutura conjuntamente a perda de C no solo.

Dessa forma os resultados observados na presente pesquisa sugerem que os maiores teores de C observados nas classes de agregados do SPD e CE em relação as demais áreas foram responsáveis pela maior proporção de agregados estáveis em água desse sistema. E que a manutenção de resíduos vegetais associado ao não revolvimento do solo na superfície do solo foram os principais responsáveis por esse processo.

3.4 CONCLUSÕES

As áreas sob SPD com dez e quinze anos de implantação, precedidas por nove anos sob SPC, apresentaram estoques de C semelhantes ao do Cerrado. Os maiores estoques de C nessas áreas foram acompanhados por uma maior quantidade de MOS leve livre (exceto SPD-10), indicando que a análise dessa fração pode ser útil no estudo da MOS.

O Latossolo vermelho de Cerrado pesquisado possuiu alta estabilidade de agregação e o uso de sistemas de plantio causou redução de agregados >2,00 mm, enquanto a área sob pastagem não foi afetada.

O SPD apresentou maiores quantidades de agregados >2,00 mm em relação ao SPC. E apresentou os maiores teores de C e N (exceto SPD-10) nas classes de agregados comparados aos outros sistemas (exceto o CE).

O C contido nas classes $>0,25$ mm na camada 0-5 cm possuíram positiva correlação com o DMP e o estoque de C, sugerindo que a preservação e manutenção dessas classes foram importantes fatores nos maiores estoques de C no CE no SPD. Indicando que esse processo foi favorecido no SPD em relação a pastagem de baixa produtividade e a prática do SPC.

4 CONCENTRAÇÕES ELEMENTAR E ISOTÓPICA DO C ($\delta^{13}\text{C}$) E DO N ($\delta^{15}\text{N}$) DO SOLO SOB CERRADO E PASTAGEM, EM RIO VERDE (GO)

RESUMO

A utilização dos solos de Cerrado convertidos em pastagens aumentou substancialmente nas últimas três décadas, sendo atualmente responsáveis por 42% do rebanho bovino nacional. Dessa forma, as conseqüências do uso da terra necessitam de um melhor entendimento, de modo a garantir a manutenção da produtividade da pecuária na região, evitando-se assim a abertura de novas áreas para esta finalidade. A composição isotópica de carbono (C) e nitrogênio (N) pode ser utilizada em estudos da dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS), pois a diferença isotópica das plantas que possuem ciclo fotossintético C3 e C4 se mantém praticamente inalterados durante os processos de transformação da MOS, permitindo acompanhar sua dinâmica quando a vegetação nativa do Cerrado é convertida em diferentes usos da terra. Enquanto que a variação natural do ^{15}N em solos reflete tanto a fonte, assim como o fracionamento do N durante as transformações da MOS. Com o objetivo de melhor entender a dinâmica da MOS na utilização de pastagem em área de Cerrado, foram avaliados os estoques de C e N, a agregação do solo e as abundâncias naturais de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ do solo no município de Rio Verde (GO). Amostras indeformadas de solo com seis repetições (0-5, 5-10 e 10-20 cm) foram coletadas em julho de 2006 (época seca) e em fevereiro de 2007 (época chuvosa) em um Latossolo vermelho distrófico de textura argilosa (50-70% de argila) em Rio Verde, Estado de Goiás ($17^{\circ}39'07''\text{S}$ e $51^{\circ}06'49''\text{W}$). Foram determinados a estabilidade de agregados por via úmida e o valor do diâmetro médio ponderado (DMP), os teores e estoques de C e N, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, a contribuição do estoque de C remanescente do sistema nativo na pastagem e a quantificação da MOS leve livre. Os teores elementares e isotópicos foram realizados, respectivamente, por combustão a seco e por espectrometria de massa. A pastagem apresentou menor teor e estoque de C em relação ao Cerrado nativo com alta substituição da MOS original (83%). A agregação do solo sob pastagem não foi afetado enquanto a quantidade de MOS leve livre e os teores de C e N nas classes de agregados indicaram menores valores em relação ao Cerrado (0-5 cm), possivelmente devido à baixa produtividade da pastagem que incorporou baixa quantidade de resíduos vegetais ao solo. Os valores mais negativos de $\delta^{13}\text{C}$ observados no CE em relação a PA-20 representam a predominância de plantas de ciclo fotossintético C3. E o mesmo padrão significativo de enriquecimento de ^{13}C e ^{15}N no solo em profundidade ocorreu devido à mineralização da MOS, exceto nos valores de ^{13}C na PA-20 provavelmente a gradativa substituição da MOS original. Os menores valores de $\delta^{15}\text{N}$ no Cerrado podem estar indicando maior fixação biológica de N em relação à pastagem. Dentro de cada área não foram verificadas diferenças nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ entre as classes de agregados. Com estes resultados foi possível verificar que grande parte da MOS original foi substituída no período de 20 anos de conversão em pastagem (83%), possivelmente a utilização da área por 9 anos sob cultivo convencional com posterior introdução da pastagem. Dentro de cada área não foram verificadas diferenças nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ entre as classes de agregados.

Palavras-chave: Isótopos estáveis, agregados do solo, matéria orgânica do solo, Cerrado

4 ELEMENTAR AND ISOTOPES C ($\delta^{13}\text{C}$) AND N ($\delta^{15}\text{N}$) SOIL CONTENTS UNDER DIFFERENT MANAGEMENT IN RIO VERDE (GOIAS STATE, BRAZIL)

ABSTRACT

The Savannah soils utilization converted in pastures increased substantially in the last three decades, being now responsible for 42% of the national bovine flock. In that way, the consequences of the use of the soil need a better understanding, in way to guarantee the maintenance of the livestock productivity of the area, being avoided like the opening of new areas for this purpose. The composition isotopic of carbon (C) and nitrogen (N) can be used in soil organic matter (SOM) dynamics studies, because the isotopic difference of the plants that possess fotossintetical cycle C3 and C4 stays practically unaffected during the processes of SOM formation, allowing to accompany the dynamics when the native vegetation of the Savannah is converted in different agricultural activities. While the natural variation of the ^{15}N in soils reflects the source so much, as well as the division of N during the SOM transformations of the SOM. With the objective of best to understand the SOM dynamics in the pasture in area of Savannah, were appraised the C and N soil stocks, the soil aggregation, the mean weighted diameter (MWD) and the natural abundances of $\delta^{13}\text{C}$ and ^{15}N , the contribution of the C stock of remaining C of the native system in the pasture and quanification of the light free fraction from SOM. Undeformed soil samples with different depths (0-5, 5-10 and 10-20 cm) with six repetitions were collected in July of 2006 (dry seasonal) and in February of 2007 (rainy seasonal) in a Oxisol (clayed Red Dystrofic Latosol) with 50-70% of clay in Rio Verde (Goias state, Brazil) ($17^{\circ}39'07''\text{S}$ e $51^{\circ}06'49''\text{W}$). The areas consisted of a native system of Savannah (CE) and a pasture of low productivity with 20 years (PA-20). The elementary and isotopic C and N soil contents were accomplished, respectively, for dry combustion and for mass spectrometer. The pasture presented smaller content and stock of C in relation to the original Savannah's SOM (83%). The soil aggregation under pasture system was not affected while the amount of C and N contents in the 0-5 cm aggregates classes indicated smaller values in relation to the Savannah, possibly due to the low incorporation of vegetable residues to the soil, agreeing with the smallest values of SOM observed (0-5 cm). In CE the values more negatives of $\delta^{13}\text{C}$ observed in relation to PA-20 represent the predominance of plants of C3 photosynthetic cycle C3. The same significant pattern of enrichment of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ depth soil happened due to the mineralization of the SOM, except in the values of $\delta^{13}\text{C}$ in the PA-20 probably by the gradual substitution of original SOM. The smallest $\delta^{15}\text{N}$ values in the CE system can be indicating larger N biological fixation in relation to the pasture. Inside of each area differences were not verified in the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values among the soil aggregates classes. With these results it was possible to verify that great part of the original SOM (83%) was substituted in the period of 20 years of CE conversion in pasture, possibly due use of the area for 9 years under conventional till with subsequent introduction of the pasture that went losing the productivity.

Key words: Stable isotopes, soil aggregates, soil organic matter, Savannah

4.1 INTRODUÇÃO

Como consequência da demanda por alimento e energia e por incentivos governamentais, a região compreendida pelo bioma do Cerrado começou ser utilizada para a agricultura e pastagens (MACEDO, 1995).

A utilização do Cerrado aumentou substancialmente nas últimas três décadas e atualmente contribui com cerca de 55% da produção nacional de carne e de grãos (soja, milho, arroz e feijão), cultivado tanto sob sistema plantio convencional (SPC) quanto sistema plantio direto (SPD) (Embrapa, 2005).

Considerando a elevada importância sócio-econômica da região do Cerrado, as consequências agrícolas e ambientais do uso do solo devem ser melhores entendidas para aprimoramento dos diferentes tipos de manejo presentes (ROSCOE et al., 2001)

Solos do Cerrado, predominantemente óxidos, são conhecidos pela sua estrutura estável (MUGGLER et al., 1997). Entretanto a mecanização pesada e altos níveis de fertilização e calagem podem diminuir os níveis de matéria orgânica do solo (MOS), agregação e porosidade do solo (NEUFELDT et al., 1999; RESCK et al., 2000). Essas perdas são principalmente relatadas devido às mudanças na quantidade e qualidade de MOS que é adicionada ao solo (RESCK et al., 2000).

Por outro lado, a pastagem e o sistema plantio direto (SPD) podem proporcionar impacto mínimo, ou até mesmo aumentar os níveis, nos conteúdos de MOS nos solos (BAYER et al., 2006; METAY et al., 2007), acompanhado de agregação do solo similar ao sistema natural (CAMPOS et al., 1995; WESTERHOF et al., 1999; NEUFELDT et al., 1999; RESCK et al., 2000;).

A composição isotópica de carbono (C) e nitrogênio (N) tem sido utilizada com sucesso em estudos da dinâmica da MOS (BALESDENT; MARIOTTI, 1996; PICCOLO et al., 1996; BERNOUX et al., 1998; ROSCOE et al., 2001). Pois a diferença isotópica de plantas difere

fortemente entre as que possuem ciclo fotossintético C_3 e C_4 , permitindo acompanhar quando o tipo de vegetação é substituída.

A vegetação do Cerrado apresenta ampla variedade de fisionomias, variando de campo limpo a Cerrado sensu-strictu (EITEN, 1972). E existem muitas evidências de que o Cerrado é dominado por plantas de ciclo fotossintético C_3 (PESSENDA et al., 1996; MIRANDA et al., 1997; ROSCOE et al., 2000), permitindo usar o emprego da técnica isotópica no estudo da dinâmica da MOS quando essa vegetação, ou alguma cultura (também de ciclo fotossintético C_3), é convertida em pastagem, de ciclo C_4 , por terem valores de $\delta^{13}C$ discrepantes, menos negativos.

Enquanto a variação natural do ^{15}N em solos reflete tanto a fonte como o fracionamento do N durante suas transformações no solo. Na maioria dos ecossistemas, o N da MOS é enriquecido em ^{15}N , em comparação com o N_2 atmosférico (KARAMANOS et al, 1981). Os processos de nitrificação e desnitrificação alteram o ^{15}N natural do solo, resultando em maiores valores com o aumento da profundidade do solo ou na MOS em estado mais avançado de decomposição (NADELHOFFER; FRY, 1988).

A abundância em ^{15}N do N da MOS e da atmosfera são diferentes, assim plantas que absorvem N proveniente da decomposição da MOS tem maior valor em relação as que absorvem N originados do solo e da atmosfera (fixação biológica).

Com o objetivo de melhor entender a dinâmica da MOS na utilização de pastagem em área de Cerrado foram analisados: os teores e estoques de C e N, a agregação do solo e as abundâncias naturais de C ($\delta^{13}C$) e de N ($\delta^{15}N$) em solo sob condições naturais e sob pastagem (*Brachiaria decumbens*) de 20 anos precedida de 9 anos sob SPC (arroz), em Rio Verde (GO).

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização e descrição da área

A descrição da área de estudo está apresentada no item 2.2.1 desta dissertação.

4.2.2 Escolha e caracterização das áreas

A escolha e caracterização das áreas estão descritas no item 2.2.2. Porém, nesse capítulo as áreas SPD-3 e SPD-7 não foram utilizadas.

4.2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado, pelas áreas estarem sob as mesmas condições edafo-climáticas, com parcelas subdivididas, constando de duas áreas (tratamentos), com seis repetições.

4.2.4 Amostragem do solo

Efetuaram-se duas amostragens do solo, a primeira em julho de 2006 (época seca) e a segunda em fevereiro de 2007 (época chuvosa). Selecionou-se uma área com aproximadamente 1 há (100 x 100 m) em cada tratamento e foram coletadas amostras de solo em seis trincheiras (repetições), distantes dez metros entre si, até 20 cm de profundidade seccionada nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

As duas coletas consistiram na retirada de amostras indeformadas de solo com o auxílio de espátulas, sendo imediatamente acondicionadas em copos plásticos, para que não ocorresse o rompimento do monólito. Nessas amostras foram realizadas as determinações das classes de agregados estáveis em água, e apenas nas amostras da primeira coleta (julho de 2007) foram analisados os teores de C e N total nas classes de agregados obtidas e o fracionamento da MOS para a obtenção da fração leve livre.

4.2.5 Análises químicas e físicas

Das seis amostras utilizadas para as análises dos teores de C e N preparadas conforme o item 2.2.5, apenas três foram tomadas para as análises isotópicas. As quais foram encaminhadas para as determinações de ^{13}C e ^{15}N em analisador elementar Carlo Erba EA 1110 acoplado a um espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus. Os resultados dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e de $\delta^{15}\text{N}$ foram expressos na forma de ‰, sendo o C em relação ao padrão internacional PDB e o N em relação à composição do ar atmosférico. Enquanto para as determinações dos teores de C e N total foram realizadas por combustão seca em um analisador elementar LECO CN-2000.

A contribuição do tipo de vegetação (C3 ou C4) no estoque de C do solo foi calculada a partir do estoque de C, composição isotópica do C do solo e da composição isotópica da vegetação predominante segundo proposto por Bernoux et al. (1998) (Equação 4).

$$\delta^{13}\text{C}_t \times \text{C}_t = \delta^{13}\text{C}_3 \times \text{C}_3 + c \times \text{C}_4 \quad (4)$$

Sendo:

$\delta^{13}\text{C}_t$ = composição isotópica do C total do solo;

C_t = Carbono total do solo;

$\delta^{13}\text{C}_3$ = composição isotópica das plantas C₃ do local;

C_3 = Carbono do solo proveniente das plantas C₃;

$\delta^{13}\text{C}_4$ = Composição isotópica das plantas C₄ do local;

C_4 = Carbono do solo proveniente das plantas C₄.

4.2.6 Cálculo dos estoques de C e N e do diâmetro médio ponderado dos agregados do solo

O cálculo dos estoques de C e N, a distribuição das classes de agregados estáveis em água e o fracionamento da MOS leve livre estão descritas, respectivamente nos itens 2.2.6 e 3.2.5.

4.2.7 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$) utilizando o programa Assistat (SILVA, 2006).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.3.1 Teores e estoque de C e N do solo

Os teores de C e N totais no solo foram mais elevados na camada superficial decrescendo com a profundidade nas duas áreas observadas (Tabela 4.1). Esse comportamento era esperado uma vez que a MOS é maior superficialmente devido ao aporte de resíduos, decrescendo no perfil do solo.

Tabela 4.1 - Teores médios de C e N (n=6) e valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (n=3) e desvio padrão, no solo e nas classes de agregados avaliadas sob Cerrado nativo (CE) e pastagem (PA-20) em Rio Verde (GO).

| Áreas ¹ | CE | PA-20 | CE | PA-20 | CE | PA-20 | CE | PA-20 |
|-----------------------|--|---------|--------|--------|-----------------------|----------|-----------------------|--------|
| | C | | N | | $\delta^{13}\text{C}$ | | $\delta^{15}\text{N}$ | |
| | g kg ⁻¹ | | | | ‰ | | | |
| | Camada de solo (cm) | | | | | | | |
| 0-5 | 38,93 A | 21,25 B | 2,23 A | 1,38 B | -25,96 a | -14,59 a | 4,15 b | 6,62 b |
| 5-10 | 22,43 A | 18,58 B | 1,20 A | 1,23 A | -24,74 ab | -14,87 a | 5,57 a | 7,39 b |
| 10-20 | 19,95 A | 16,88 B | 1,33 A | 1,18 A | -23,02 b | -15,04 a | 6,07 a | 8,38 a |
| | Classes de agregados do solo (mm)² | | | | | | | |
| | 0-5 cm | | | | | | | |
| > 2,00 | 53,44 A | 34,80 B | 3,10 A | 1,67 B | -25,64 a | -14,54 a | 4,09 a | 6,77 a |
| 2,00 < 0,25 | 58,17 A | 37,17 B | 3,67 A | 1,97 B | -25,75 a | -14,88 a | 4,01 a | 6,16 a |
| 0,25 < 0,05 | 31,83 A | 23,00 B | 2,13 A | 1,37 B | -25,21 a | -15,28 a | 4,99 a | 7,29 a |
| < 0,05 | 53,60 A | 31,80 B | 2,80 A | 1,37 B | -25,63 a | -14,22 a | 4,07 a | 7,61 a |
| | 5-10 cm | | | | | | | |
| > 2,00 | 33,53 A | 28,56 A | 2,20 A | 1,47 B | -24,03 a | -15,56 a | 6,00 a | 7,41 a |
| 2,00 < 0,25 | 35,23 A | 30,54 A | 2,20 A | 1,67 B | -24,20 a | -15,68 a | 5,76 a | 7,69 a |
| 0,25 < 0,05 | 21,71 A | 23,21 A | 1,40 A | 1,33 A | -23,79 a | -15,90 a | 6,82 a | 7,75 a |
| < 0,05 | 30,07 A | 31,33 A | 1,83 A | 1,53 A | -24,59 a | -15,08 a | 4,07 a | 7,41 a |
| | 10-20 cm | | | | | | | |
| > 2,00 | 32,82 A | 27,46 B | 2,07 A | 1,30 B | -23,56 a | -14,96 a | 6,17 a | 7,69 a |
| 2,00 < 0,25 | 29,58 A | 26,27 A | 1,83 A | 1,30 B | -23,70 a | -15,17 a | 5,66 a | 6,16 a |
| 0,25 < 0,05 | 21,79 A | 23,96 A | 1,33 A | 1,30 A | -23,40 a | -15,38 a | 6,23 a | 8,10 a |
| < 0,05 | 36,90 A | 24,87 B | 1,73 A | 1,27 B | -24,12 a | -15,06 a | 5,73 a | 8,15 a |

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%. ¹CE: Cerrado; PA-20: pastagem com 20 anos de implantação (*brachiaria decumbens*). ²Classes de agregados obtidas por peneiramento úmido.

Na área sob vegetação nativa (CE) foram observados os maiores teores e estoque de C (0-20 cm) e teores de N (0-5 cm) (Tabela e Figura 4.1).

É possível, já que em ambas as áreas não houve revolvimento do solo em ao menos 20 anos, que o maior estoque de C no CE em relação a PA-20 esteja relacionado principalmente ao constante aporte de resíduos na camada superficial sob vegetação nativa, comparado a baixa produtividade da gramínea, ao pastejo intensivo e a ausência de manejo. Além da provável redução do estoque de C associado à prática do SPC, antecedido na área PA-20, que provavelmente ao revolvimento do solo estimulou a oxidação da MOS por parte da biomassa microbiana (BAYER et al., 2006).

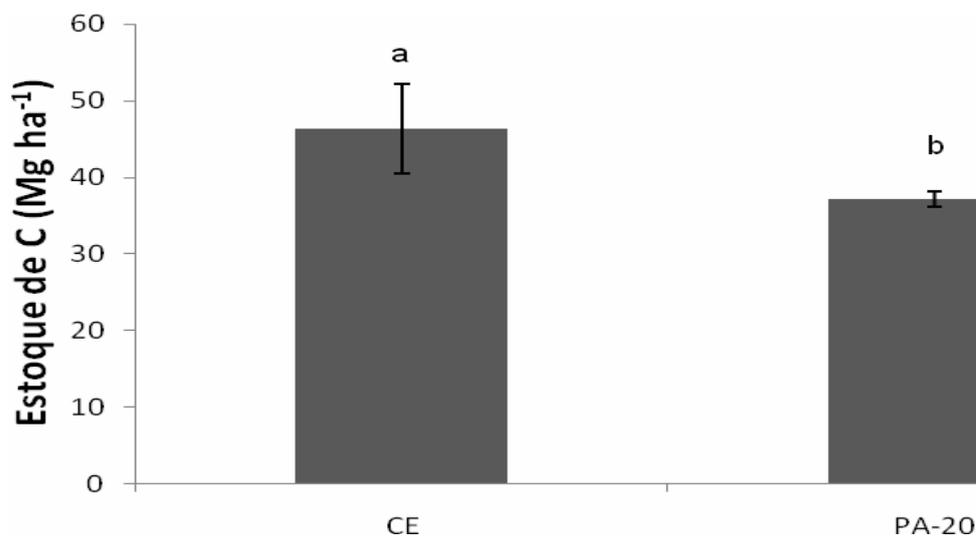


Figura 4.1 - Estoque de N (Mg ha⁻¹) na camada 0-20 cm do solo corrigido pela massa fixa de solo (4000 Mg ha⁻¹). Os valores representam a média (n=6) ± dp. Médias com a mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Em relação ao Cerrado foi observado na área PA-20 estoque de C na camada 0-20 cm de solo 21% menor (Figura 4.1). Existem relatos que pastagens de baixa produtividade favoreceram a redução do C no solo em algumas regiões do Cerrado (SILVA et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2004) e da região amazônica (CERRI, 2003).

Outros autores estudando áreas de pastagens com baixa produtividade sob Latossolos em regiões tropicais encontraram resultados semelhantes. Moraes (1991), estudando uma

cronossequência de introdução de pastagens em Rondônia, observou uma diminuição de 25% do C original após 20 anos de uso, na camada 0-20 cm de solo, e Veldkamp (1994), estudando áreas com pastagens na Costa Rica, encontrou, na camada de 0-40 cm uma perda de 20% nos estoques de C após 25 anos de uso.

A baixa produtividade da gramínea na área PA-20 pôde ser evidenciada pela análise da fração leve livre do solo (Figura 4.3), que apresentou diferença pronunciada na camada 0-5 cm em relação ao CE, com respectivamente 12 e 4 g kg⁻¹. Esse resultado possivelmente influenciou no menor estoque de C na PA-20 e no menor teor de N na camada 0-5 cm de solo, devido à menor presença de MOS recente incorporada, as quais participam dos processos de acúmulo de C (SIX et al., 2000).

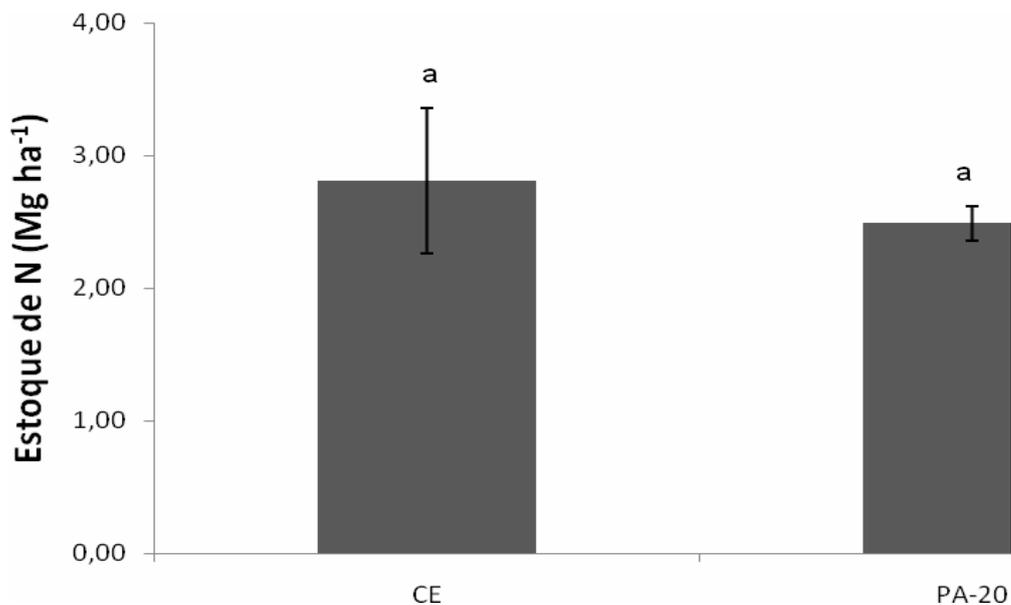


Figura 4.2 - Estoque de N (Mg ha⁻¹) na camada 0-20 cm do solo corrigido pela massa fixa de solo (4000 Mg ha⁻¹). Os valores representam a média (n=6) ± dp. Médias com a mesma letra não diferem significativamente pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Este resultado concorda com os reportado por Skjemstad & Dalal (1987) e Pinheiro et al. (2004), que também verificaram o acúmulo de fração leve livre favorecido em solos continuamente vegetados com elevado retorno da palhada, sendo exemplo deste comportamento os solos florestais e pastagens permanentes.

Pinheiro et al. (2004) em Paty do Alferes (RJ) através do fracionamento densimétrico da MOS sob Latossolo vermelho, relataram que a distribuição do peso da fração leve livre diferiu significativamente e que a vegetação nativa de gramíneas foi a que apresentou maior massa na camada 0-5 cm de solo ($0,9 \text{ g kg}^{-1}$) em relação ao cultivo mínimo ($0,2 \text{ g kg}^{-1}$) que por sua vez foi maior que sob SPC ($0,1 \text{ g kg}^{-1}$).

A análise da fração leve livre indicou se útil na pesquisa da dinâmica da MOS, pois, provavelmente essa fração estava sendo afetada muito antes da diminuição da estoque de C, o qual poderia ter sido evitado. Pinheiro et al. (2004) concluiu a fração leve livre foi mais sensível à degradação pelo cultivo, podendo ser utilizada como indicador da diminuição do conteúdo de MOS.

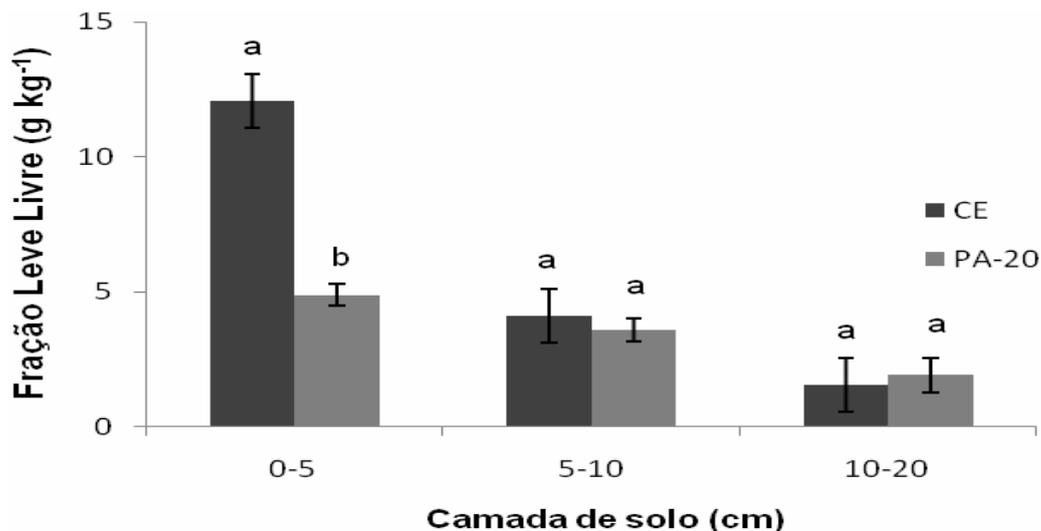


Figura 4.3 - Fração leve livre (g kg^{-1}) nas camadas de solo avaliadas. Os valores representam a média ($n=6$) \pm dp. Médias com letras iguais na mesma camada não diferem significativamente pelo Teste de Tukey ($p<0,05$).

Nem mesmo a reforma na área de pastagem (2 meses antes da coleta) indicou aumento no estoque de C e espera-se que isso ocorra em um período maior de tempo. Fato também observado por Noronha (2005) em experimento de recuperação de pastagens em um Latossolo vermelho no Estado de Rondônia.

Noronha (2005) encontrou aumentos significativos nos estoques de C (0-30 cm) em áreas sob pastagens após a reforma (meses): de 44 para 55 Mg ha^{-1} em área após 28 meses

(pasto submetido a gradagem, NPK e micronutrientes); de 45 para 53 Mg ha⁻¹ em área após 9 meses (pasto submetido ao SPD com arroz, NPK e micronutrientes; e de 47 para 64 Mg ha⁻¹ em área após 12 meses (pasto submetido ao SPD com soja, PK e micronutrientes). Dessa forma, é possível que outro manejo na área PA-20 poderia ter sido mais adequado para acelerar o aumento nos teores e estoques de C.

Os estoques de N (figura 4.2) não apresentaram diferenças significativas entre os sistemas estudados, concordando com D'andréa et al. (2004) em Morrinhos (GO) e Miranda (2007) em Sorriso (MT), pesquisando sobre o efeito de diferentes sistemas de manejo do solo, que também não detectaram diferenças entre um SPD, SPC e pastagem em relação ao estoque de N.

Segundo Passos et al. (2007), a maior restrição a aeração promovida por solos cultivados pode favorecer o acúmulo de N pela redução da mineralização da MOS em relação ao solo sob Cerrado nativo. O que poderia justificar os estoques de N semelhantes entre as áreas avaliadas.

Outra possível explicação estaria na complexidade do ciclo do N, que torna difícil a determinação das relações de causa e efeito apenas com medições pontuais (MIRANDA, 2007).

4.3.2 Agregação do solo

A distribuição dos agregados estáveis em água nas duas áreas (CE e PA-20) e nas três camadas de solo (0-5, 5-10 e 10-20cm) avaliadas indicou predominância das classes de agregados > 2mm e macroagregados (acima de 77%) (Figura 4.4). Os valores de DMP, em torno de 4,0 mm (Figura 4.5), seguiram a tendência encontrada para os agregados > 2 mm, apresentando coeficiente de correlação significativa ($p < 0,01$) (Tabela 4).

A predominância de agregados > 2,00 e 2,00-0,25mm evidenciaram alta estabilidade de agregação do solo, concordando com as observações feitas por outros pesquisadores avaliando diferentes sistemas de manejo para Latossolos vermelhos de região tropical.

A alta estabilidade de agregação verificada se deve principalmente a interações eletrostáticas entre as partículas minerais de argila com metais polivalentes, principalmente óxidos de Fe e Al, predominante em solos de regiões tropicais (ZOTARELLI et al., 2007).

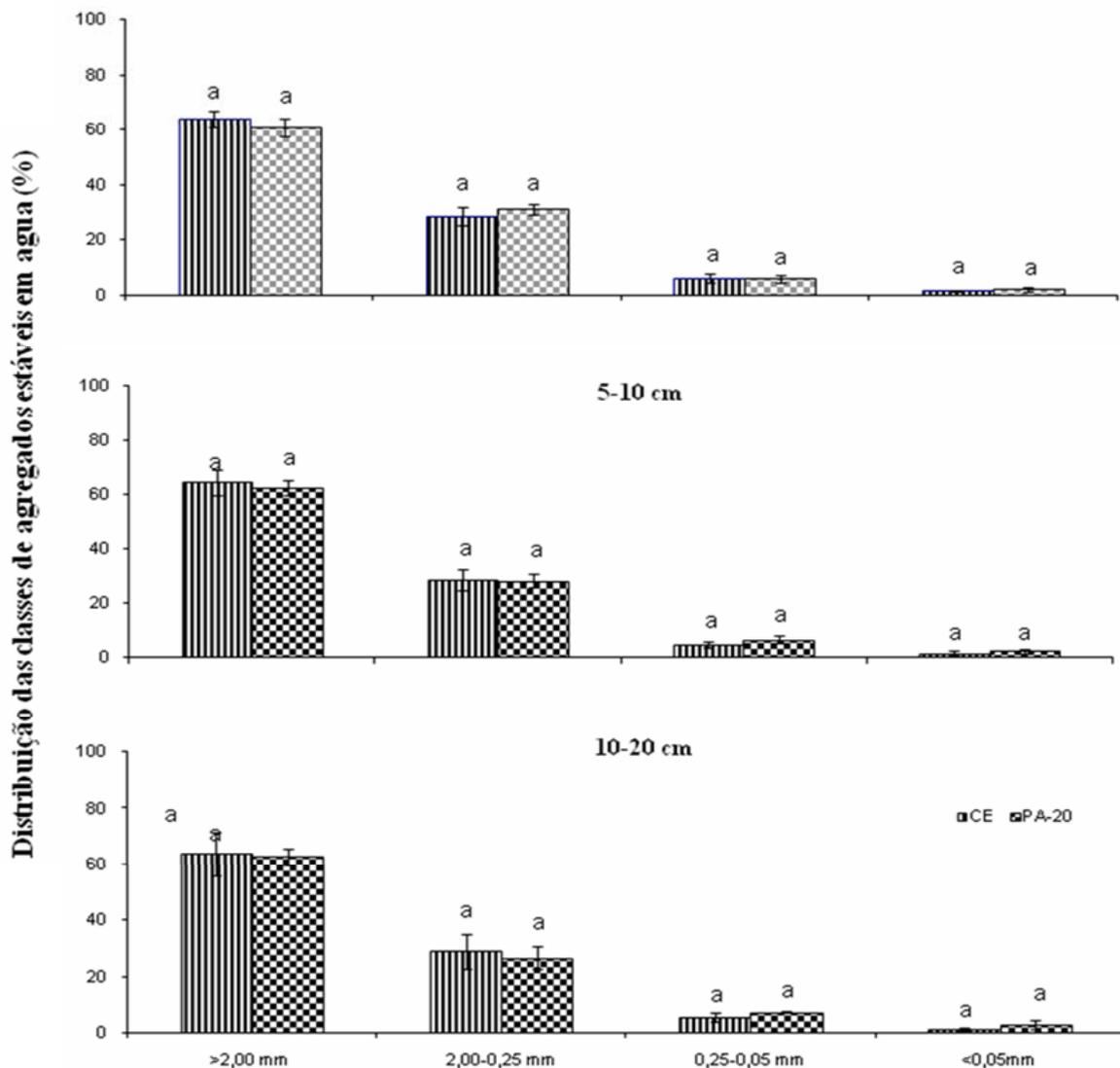


Figura 4.4 - Distribuição das classes de agregados do solo nas áreas e camadas avaliadas em Rio Verde (GO). Os valores representam a média (n=6) \pm dp. Médias com a mesma em cada classe de agregado não diferem significativamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

A agregação do solo e valor do DMP semelhante ao sistema nativo nas três camadas avaliadas sob PA-20 (Figuras 4 e 5), sugeriu que o cultivo da gramínea, mesmo com baixa produtividade, pôde manter ou até mesmo recuperar os índices de agregação. Pois, provavelmente a área sob pastagem havia perdido sua agregação original pelo cultivo durante os 9 anos sob SPC pelo qual antecedeu a pastagem, pois é sabido que essa prática proporciona menores índices de agregação devido ao revolvimento do solo (BAYER et al., 2000).

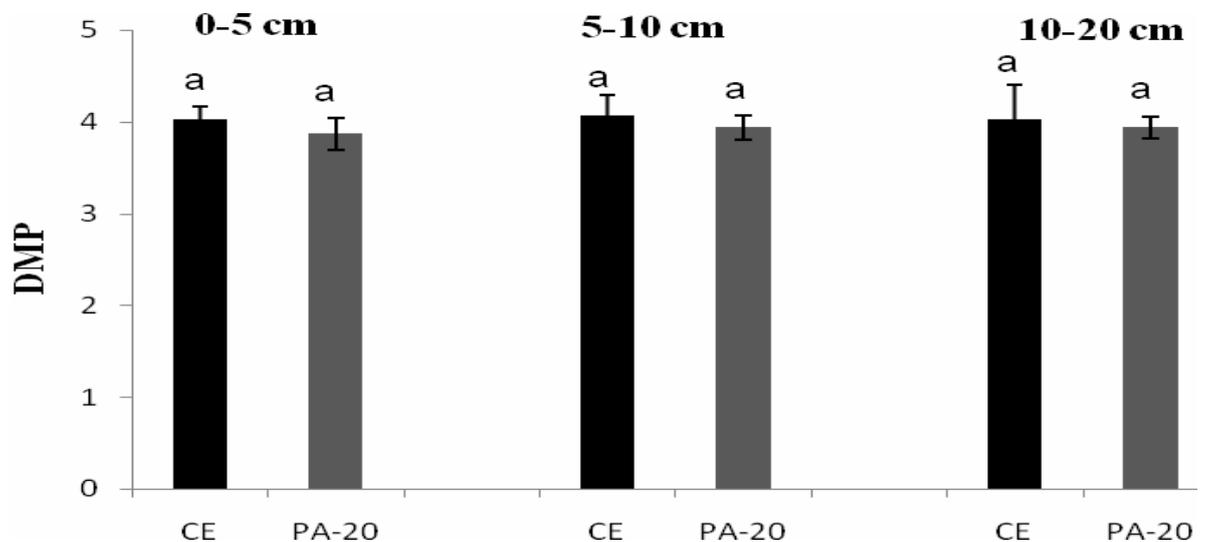


Figura 4.5 - Diâmetro médio ponderado (DMP) das classes de agregados do solo nas áreas e camadas avaliadas em Rio Verde (GO). Os valores representam a média (n=6) \pm dp. Médias com a mesma em cada classe de agregado não diferem significativamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

A elevada agregação do solo sob pastagem está de acordo aos também verificados por Fregonesi, et al. (2001), trabalhando com Latossolo argiloso que encontraram 96% de agregados com diâmetro entre 1,00 e 4,00 mm na camada de 0-5 cm do solo. E Alvarenga e Davide (1999), que encontraram em torno de 80% de agregados maiores que 2,00 mm em um Latossolo vermelho-escuro na camada 0-10 cm de solo.

Segundo Salton (2005), altos índices de agregação em solo sob pastagens ocorrem devido à maior proliferação de raízes das gramíneas que favorecem a granulação do solo, agrupando as partículas do solo fisicamente, contribuindo para a elevada estabilidade de agregação.

4.3.3 C e N nos agregados do solo

Os teores de C e N nas classes de agregados do solo tiveram a mesma tendência que para o solo total, sendo maiores em superfície decrescendo com a profundidade. Apresentaram diferenças significativas apenas na camada 0-5 cm de solo para os teores de C e N, com maiores sob CE em relação a PA-20, exceto na classe 0,25-0,05 mm das camadas de solo 5-10 e 10-20 cm. Os teores de N ainda apresentaram maiores valores significativos no CE nas camadas 5-10 e 10-20 cm de solo para os agregados > 2,00 e 2,00-0,25 mm.

As diferenças acentuadas nos teores de C e N nos agregados da camada 0-5 cm de solo, assim como a MOS leve livre (Figura 6), provavelmente indicaram que as diferentes práticas de manejo afetaram principalmente essa camada. E concordam com os verificados por Madari et al. (2005), Pinheiro et al. (2004), Six et al. (2000) e Castro-Filho et al. (2002).

Pinheiro et al. (2004) encontraram teores de C significativamente maiores no solo sob vegetação nativa (pasto natural) e em um SPD em relação a um SPC apenas nos agregados > 2,00 mm (0-5 cm), com respectivamente 20 g kg⁻¹ para a vegetação nativa e o SPD e 15 g kg⁻¹ para o SPC. Concordando com a presente pesquisa no que se refere, também, a recuperação dos teores de C no SPD semelhantes ao solo sob vegetação nativa.

Todos os autores citados concluíram que o aumento da intensidade de cultivo do solo induziu a perda de C em agregados >0,25mm, resultando em menores estoques de C, estando de acordo com resultados observados na atual pesquisa. Visto que a área PA-20 foi antecedida pelo cultivo sob SPC por 9 anos.

Na área sob Cerrado os maiores teores de C observados se devem possivelmente ao não revolvimento do solo associado à constante incorporação de MOS em superfície pelos restos vegetais. Assim, nesse sistema, provavelmente, houve o favorecimento da incorporação de materiais orgânicos em agregados, principalmente nos agregados > 2,00 e 2,00-0,25 mm, estabilizando a MOS e conduzindo aos maiores teores de C e N entre as áreas observadas.

Enquanto na área PA-20 a MOS contida nas classes de agregados (0-5 cm) provavelmente sofreram ação dos organismos do solo e como sob essa área houve menor incorporação de resíduos culturais em superfície (Figura 4.3), devido à baixa produtividade da área, a incorporação de materiais orgânicos nos agregados do solo ficou debilitada resultando em menores teores de C e N; o que concorda com o exposto por Six et al. (2000).

A formação e manutenção das classes de agregados >2,00 mm são, segundo Six et al. (1999, 2000) a classe responsável pelo mecanismo de acúmulo de C sob SPD, prática que promove a adição de resíduos em superfície e não revolve o solo. O autor reportou que essa capacidade do SPD em acumular C é devido ao 'turnover' reduzido dos agregados >0,25 mm comparado a práticas intensas de cultivo. E citou que a MOS particulada, incluindo a leve livre, controla esse processo, concordando com os resultados do presente estudo.

E ainda, considerando a quantidade e o teor de C de cada classe de agregado e da fração desagregada, foi verificado que mais de 89% do teor de C é proveniente de agregados > 2,00 e macroagregados, o que evidencia o importante papel dos agregados maiores na proteção da MOS e provavelmente aos maiores teores de C.

Os maiores teores de N verificados nos agregados da camada 0-5 cm de solo sob CE possivelmente se devem aos elevados teores de MOS nessa camada sob esses sistemas, evidenciados pelos teores de C (Tabela 3), sabendo-se que 95% do N no solo, segundo Camargo et al. (1999), provem da MOS.

São poucas as pesquisas envolvendo os teores de N em classes de agregados do solo, sendo dessa forma, escassas as informações sobre o comportamento desse elemento na dinâmica de agregação.

4.3.4 $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ do solo

Comparando as duas áreas avaliadas, foram observados menores valores de $\delta^{13}\text{C}$ no CE e maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ na pastagem. E com a aplicação da técnica isotópica foi possível observar o mesmo padrão de enriquecimento de ^{13}C e ^{15}N na MOS em profundidade, exceto nos valores de ^{13}C na pastagem, o que refletiu o efeito do fracionamento durante a decomposição da MOS ao longo do perfil (MARTINELLI et al., 1996).

Na área sob PA-20 provavelmente pela gradativa substituição da MOS originada do Cerrado, de plantas C_3 , pela da gramínea, que possui ciclo fotossintético C_4 , não foi observado diferença significativa em profundidade.

Os valores $\delta^{13}\text{C}$ no CE variaram de -23,02 a -25,96‰, característico de plantas C_3 , e na PA-20 de -14,59 a -15,04 ‰, indicando o predomínio de plantas C_4 (elevada substituição da MOS original).

Os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ observados nas áreas avaliadas estão de acordo com Jantalia et al. (2006), pesquisando a influência de pastagens no estoque de C e N em um Latossolo vermelho em Planaltina (DF), que verificaram valores em torno de -22,7 a -21,0 ‰ para o solo sob Cerrado e de -19,00 a -19,80 ‰ para uma pastagem com 11 anos de implantação, ambas na camada 0-20 cm. E Roscoe et al. (2001), em torno de -25 a -23‰ para o solo sob Cerrado e uma pastagem com 23 anos de implantação de -22 a -20‰, avaliando a dinâmica da MOS pela aplicação da técnica isotópica em Latossolo vermelho de Cerrado em Uberlândia (MG).

A gradativa substituição da MOS original também foi observada por Ker (2007), em Latossolo vermelho no Acre, que encontrou menores valores de $\delta^{13}\text{C}$ (0-20 cm) com o maior tempo de implantação da pastagem (*Brachiaria brizantha*), com 20 (-22 a -16‰), 10 (-23 a -20‰) e 3 (-26 a -24‰) anos e por volta de -25 ‰ para a vegetação nativa; o autor concluiu

que o tempo de implantação, além de tender a superar o C oriundo da mata, proporcionou maior proporção de C no solo derivado da pastagem.

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ observados foram de 6,62 a 8,38 ‰ na PA-20 e de 4,15 a 6,07 ‰ no CE. O mesmo padrão de enriquecimento com a profundidade se deve, geralmente, a dois processos: 1) formação de liteira de folhas na superfície, que é geralmente empobrecida em ^{15}N em relação ao solo; e 2) fracionamento, ou discriminação, de ^{15}N durante a decomposição da liteira e mineralização do húmus do solo (PICCOLO et al., 1996; TURNER et al., 1983).

Esses resultados concordam com Bustamante et al. (2004) que verificaram os menores valores de $\delta^{15}\text{N}$ em tecidos de plantas leguminosas comparadas a não-leguminosas, avaliando diferentes espécies de plantas do Cerrado em Brasília (DF).

Siqueira Neto (2006) avaliando as áreas do presente estudo no ano de 2004 (0-20 cm) observou resultados semelhantes, verificou menores valores de ^{15}N (4,50 a 6,70 ‰) para o solo sob Cerrado em relação ao solo sob PA-20 (6,45 a 8,13 ‰), na época com 17 anos de implantação. E Bustamante et al. (2004) que verificaram valores em torno de 4,00 e 7,00 ‰ nos primeiros 20 cm de solo.

O fato do solo sob Cerrado apresentar valores mais baixos de $\delta^{15}\text{N}$ em comparação com a pastagem, pode estar associado com a maior fixação biológica de N_2 atmosférico por bactérias de vida livre, que devido ao $\delta^{15}\text{N}$ atmosférico ter um valor de 0,0 ‰, empobreceria a liteira em superfície (MARIOTTI et al., 1980). Além do provável fracionamento associado aos processos de denitrificação e nitrificação, citado acima, e a perda seletiva de nitrato empobrecido em ^{15}N por lixiviação, evidentemente, aumentando o valor de $\delta^{15}\text{N}$ (NADELHOFFER; FRY, 1988; PICCOLO et al., 1996; HÖGBERG 1997).

Essa hipótese concorda com os resultados obtidos por Siqueira Neto (2006), em pesquisa nas mesmas áreas do presente estudo, que verificou maior quantidade de N-nitrato

na área de Cerrado que na pastagem, em torno, respectivamente, de 4 e 3 g ha⁻¹, e denitrificação com emissão de N₂O de 20%.

Porém, segundo o autor, o maior fluxo estimado para o N-N₂O no CE pode estar associado a outros fatores como o maior teor de MOS, a maior diversidade funcional de microrganismos do sistema e a manutenção da umidade no solo durante o ano que favorecem as transformações do N no solo, por processos de nitrificação e denitrificação. O que aumentaria o número de variáveis envolvidas nesses valores além das avaliadas na presente pesquisa.

Por outro lado, existem evidências da possibilidade de associações das principais gramíneas tropicais com bactérias de vida livre que fixam N em solos de pastagens cultivadas com espécies do gênero *Brachiaria* (DOBEREINER, 1992), ocorrendo maior fixação biológica em relação à vegetação nativa. Como observado por Piccolo et al. (1996), em estudo sobre a abundância natural em ¹⁵N em solos de floresta e pastagem em Rondônia, que encontraram valores de ¹⁵N entre 10 e 12‰ para a floresta e de 8 a 11‰ para uma pastagem com 20 anos de implantação. Embora isso não tenha sido verificado no presente estudo.

4.3.5 Origem da MOS na área sob pastagem

Com os cálculos efetuados a partir dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ obtidos e do estoque de C, foi observado que 83% do estoque de C (0-20 cm) na PA-20 foi proveniente do cultivo da gramínea. Essa porcentagem de substituição da MOS com a introdução da pastagem está acima dos verificados por outros pesquisadores em Latossolos vermelho de Cerrado.

Jantalia et al. (2006) encontraram 30% de substituição (0-20 cm), em Planaltina (DF), em solo sob pastagem 9 anos mais recente, com 11 anos de implantação e Roscoe et al. (2000) que encontraram em uma pastagem com 23 anos de implantação, em Sete Lagoas (MG), substituição de 36% (0-10 cm).

No Pará, Desjardins et al. (1994) verificaram 52% de substituição do estoque de C (0-10 cm) em uma pastagem de 10 anos. E numa pastagem degradada com 23 anos de implantação, também no Pará, Trumbore et al. (1995) encontraram que apenas 21% do estoque de C (0-10 cm) foi derivado da pastagem.

Como as áreas sob pastagem acima citadas foram implantadas a partir da retirada da vegetação nativa, a elevada porcentagem de substituição da MOS na área PA-20 em relação às mesmas pode estar relacionada principalmente a dois fatores: 1) a utilização da área por 9 anos sob SPC anterior a implantação da pastagem e 2) alta quantidade de biomassa aérea e radicular por parte da braquiária.

É amplamente conhecido que o revolvimento do solo através pelos implementos agrícolas utilizados no SPC aumenta a taxa de oxidação da MOS com diminuição de seu nível de acordo com a intensidade de preparo (BAYER et al., 2006 e 2004). Segundo Siqueira (2006), a utilização do SPC em área próxima a da PA-20 por 29 anos, com o mesmo teor de argila, ocasionou a diminuição de aproximadamente 26% do estoque de C quando comparado a mesma área sob vegetação nativa do presente trabalho (CE). Dessa forma, é provável que a área PA-20 também tenha perdido quantidade considerável de C deixando, evidentemente, o C do solo abaixo do nível original.

Com a implantação do cultivo da gramínea braquiária, considerada capaz de acumular C no solo pela grande quantidade de matéria seca e intensa renovação de seu sistema radicular abundante e perene (SALTON, 2005), provavelmente houve a introdução de elevada quantidade de MOS (planta C₄) nos primeiros anos o cultivo da gramínea que substituiu grande parte da MOS, já reduzida, proveniente do Cerrado e do cultivo do arroz. E com o passar dos anos a falta de manejo da área PA-20 foi reduzindo a produtividade da gramínea, refletindo nos menores teores e estoque de C após 20 anos de implantação da pastagem.

Oliveira et al. (2000) avaliando pastagens com *braquiaria decumbens* e *brizanta* em área de Cerrado em Campo Grande (MS) confirmaram que pastagens produtivas possuíam mais MOS recente que pastagens degradadas. E concluíam que um dos melhores parâmetros de degradação da pastagem é a deposição de liteira (MOS) pela gramínea, que se comportam inversamente.

Em Planaltina (DF) sob Latossolo na região dos Cerrados, Oliveira et al. (2006) pesquisando uma cronossequência de pastagens encontraram elevada substituição do C original nos diversos compartimentos físicos do solo, após 20 e 25 anos e não encontraram diferença nos estoques de C da vegetação nativa (Cerrado) e da pastagem. Os autores destacam que nos primeiros 10 cm de profundidade a fração leve era predominantemente de C derivado da pastagem.

No presente trabalho não foram feitas as análises de C na fração leve livre, porém, possivelmente corroboram com os trabalhos citados, já que a fração leve livre da área sob PA-20 é inferior ao do CE na camada 0-5 cm de solo (Figura 6), cerca de 150%, evidenciando a diminuição da capacidade produtiva da pastagem com o passar dos anos sem manejo.

4.3.6 $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ nas classes de agregados no solo sob pastagem

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ observados nas classes de agregados das duas áreas avaliadas seguiram de uma forma geral padrão similar ao verificado no solo total, com menores valores de $\delta^{13}\text{C}$ no CE e maiores valores $\delta^{15}\text{N}$ na PA-20. Variaram de -25,75 a -23,40‰ no CE e de -15,68 a -14,22‰ na PA-20 para o $\delta^{13}\text{C}$ e de 4,01 a 6,82‰ no CE e de 6,16 a 8,15‰ na PA-20 para o $\delta^{15}\text{N}$.

Entre as classes de agregados do solo das duas áreas avaliadas (CE e PA-20), os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ não apresentaram diferenças significativas nas camadas de solo avaliadas. Porém, algumas considerações podem ser feitas.

A MOS em grau mais avançado de humificação apresenta menor valor de $\delta^{13}\text{C}$ em relação a menos humificada, assim, é esperado que os valores nas classes de agregados $>0,25$ mm e $< 0,053$ mm fossem maiores devido à formação dessas classes terem maior contribuição de MOS recente (SIX et al., 2002).

Essa hipótese corrobora com a tendência, não significativa, observada nos menores valores de $\delta^{13}\text{C}$ nos agregados 0,25-0,05 mm, sugerindo maior quantidade de MOS remanescente do Cerrado e maior proteção do C nessa classe em relação às demais.

Alguns trabalhos demonstraram que os agregados 0,25-0,05 mm comportam mais MOS antiga do que os agregados $>0,25$ mm (JASTROW, 1996; SIX et al., 2000; DE GALDO et al., 2003) e isso se deve a maior estabilidade dos primeiros que se reciclam mais vagarosamente (TISDALL; OADES, 1982).

Roscoe et al. (2006) relataram a possibilidade de agregados 0,25-0,05 mm do solo serem estabilizados por materiais orgânicos mais humificados, devido aos menores valores de $\delta^{13}\text{C}$, enquanto os agregados $> 2,00$ mm por materiais transitórios, ou menos decompostos pelas maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$, o que concorda com as observações do presente estudo.

De Galdo et al. (2003) avaliando impacto do uso do solo pelo uso de técnicas isotópicas em área reflorestada há 20 anos antecedida pelo cultivo do milho (planta C_4) na Itália, observaram que a que a MOS foi acumulada e estabilizada nos agregados 0,25-0,05 mm e na fração silte e argila ($< 0,05$ mm), por possuírem maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$. Segundo os autores isso ocorreu não devido a entrada de maior quantidade de MOS, mas a uma transferência de C mais velho dos macroagregados ($>0,25$ mm) para essas frações, as quais representam a

verdadeira estabilização de C no solo. Embora o processo de acúmulo de C se inicie com a entrada de MOS recentemente incorporada nos macroagregados (SIX et al., 1999).

Os maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ nos agregados $>2,00$ mm, concordam com Six et al. (1999) e De Galdo et al. (2003), e podem estar indicando maior sensibilidade dessa classe devido ao manejo, pois como a formação da mesma foi principalmente por materiais menos decompostos, a adição de MOS constante ao sistema pode ser fundamental para a formação e manutenção dessa classe.

O mesmo comportamento sugerido do C nas diferentes classes de agregados foi verificado na área de Cerrado para o N, com maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ nos agregados $>0,25$ mm em relação aos demais, indicando possivelmente que uma MOS menos humificada predominou nessa classe. Porém, esse comportamento não foi observado na PA-20, pois nas classes 0,25-0,05 e $< 0,05$ mm foram observados os maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ (não significativos) em relação às demais classes de agregados, indicando possivelmente que uma MOS menos humificada predominou nessas classes.

Dessa forma é possível que o mecanismo de agregação envolvendo o N seja diferente em comparação ao do C e que outros compartimentos da MOS estejam sendo afetados, porém isso não pode ser verificado.

E pela falta de diferenças significativas entre os resultados observados e as tendências observadas, talvez um maior número de repetições possa ser útil quando se objetiva a pesquisa com a técnica isotópica de C e N nas diferentes classes de agregados do solo.

4.4 CONCLUSÕES

A baixa produtividade da pastagem conduziu a menores teores e estoque de C e MOS leve livre em relação ao Cerrado nativo. Apesar do menor teor de N na pastagem (0-5 cm), o estoque de N não foi afetado.

A agregação do solo sob pastagem não foi afetada enquanto os teores de C nos mesmos indicaram menores valores em relação ao Cerrado, possivelmente pela falta de incorporação de MOS recentemente (leve livre) ao solo, responsáveis pela manutenção dos teores de C.

O $\delta^{13}\text{C}$ indicou alta substituição da MOS proveniente do Cerrado na pastagem (83%), provavelmente ao cultivo anterior da área sob SPD que diminuiu a quantidade de C do solo e a introdução da gramínea que inicialmente incorporou grande quantidade de MOS proveniente de planta de ciclo C_4 .

Os menores valores de $\delta^{15}\text{N}$ no Cerrado podem estar indicando maior fixação biológica de N em relação à pastagem. E uma possível denitrificação maior na área de pastagem provocado por uma concentração de nitrato mais elevada.

5 CARBONO, NITROGÊNIO E ATIVIDADE DA BIOMASSA MICROBIANA EM LATOSSOLO DO CERRADO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO EM RIO VERDE (GO)

RESUMO

A dinâmica dos microrganismos no solo é influenciada tanto por fatores ambientais como pelo manejo adotado, sendo um importante indicador da qualidade de um sistema em períodos relativamente curtos de tempo. Desta forma, o estudo da quantidade e atividade da biomassa pode trazer importantes informações para o planejamento adequado do uso da terra. O objetivo deste estudo foi verificar alterações em alguns atributos biológicos do solo após a implantação de sistemas de manejo em áreas originalmente sob Cerrado nativo nas épocas seca e chuvosa. Amostras de solo (0-5, 5-10 e 10-20 cm) foram coletadas em julho de 2006 (época seca) e fevereiro de 2007 (época chuvosa) em Latossolo vermelho distrófico (50-70% de argila) em Rio Verde (GO) (17°39'07''S e 51°06'49''O). As áreas avaliadas consistiram um Cerrado nativo (CE), uma pastagem degradada com 20 anos (PA-20), um SPC com 29 anos (SPC-29) e dois SPD, com 10 e 15 anos, respectivamente (SPD-10 e SPD-15). Os atributos microbiológicos do solo avaliados foram: carbono e nitrogênio microbiano (C_{mic} e N_{mic}) e total do solo (C e N), respiração basal (RB), coeficiente metabólico (qCO_2) e relações C_{mic}/C_{total} e N_{mic}/N_{total} . Houve influência entre as épocas e as camadas estudadas, sendo que a época chuvosa apresentou os maiores resultados das variáveis, exceto o qCO_2 . Menores valores de qCO_2 na época chuvosa refletiram maior eficiência de imobilização de C na biomassa microbiana. O Cerrado nativo obteve os maiores valores de C_{mic} e N_{mic} , em todas as camadas de solo avaliadas, indicando que a introdução de sistemas de manejo reduziu significativamente essas variáveis. Diferenças nos atributos avaliados entre as áreas foram observadas na época chuvosa. Excetuando a área sob Cerrado, os maiores valores de C_{mic} e N_{mic} foram observados na PA-20 e o menor no SPC-29. Não foram observadas diferenças significativas entre os sistemas de manejo para a respiração basal e qCO_2 . Esses resultados indicaram melhores condições ao desenvolvimento microbiano na pastagem, provavelmente devido o cultivo da gramínea, a excreção dos animais e a reforma da área na pastagem. E a adoção do SPD foi importante fator no aumento do C_{mic} e N_{mic} em relação ao SPC, possivelmente devido a melhor adaptação da biomassa microbiana a essa condição. As alterações nos atributos microbiológicos nas áreas com diferentes usos da terra apontaram que o maior equilíbrio encontrava-se no solo sob Cerrado.

Palavras-chave: matéria orgânica do solo, sistema plantio direto, indicadores biológicos, Cerrado

5 SOIL MICROBIAN BIOMASS CARBON, NITROGEN AND ACTIVITY IN RED LATOSOL UNDER DIFFERENT MANAGERMENTS IN RIO VERDE (GOIAS STATE, BRAZIL)

ABSTRACT

The dynamics of the microorganisms in the soil so much is influenced by environmental factors as by anthropogenic perturbation, being relatively an important indicator for the system quality in short periods of time. This way, the study of the amount and activity of the biomass can bring important information for the appropriate soil planning use. The objective of this study was to verify alterations in some biological attributes of the soil after the land use change and vegetation management in areas originally under native Savannah in dry and rainy seasonal. Soil samples from different depths (0-5, 5-10 and 10-20 cm) were collected in July of 2006 (dry seasonal) and February 2007 (rainy seasonal) in a Oxisol (clayey Red Dystrophic Latosol) with 50-70% of clay in Rio Verde (Goias state, Brazil) (17°39'07''S and 51°06'49''W). The appraised areas consisted in a native Savannah (CE), a pasture degraded with 20 years (PA-20), a conventional till with 29 years (SPC -29) and two no-till with 10 (SPD-10) and 15 (SPD-15) years. The soil microbiologicals attributes evaluated were: carbon and nitrogen microbial (Cmic and Nmic) and total nitrogen of the soil (C and N), basal breathing (BB), metabolic coefficient (qCO_2) and relationships Cmic / Ctotal and Nmic / N total. There were differences between the dry and rainy seasonal and between the studied soil depth. The highest values were observed in rainy seasonal, except the qCO_2 . Smaller qCO_2 values in seasonal rainy reflect the largest efficiency of immobilization of C in the microbial biomass. In the native Savannah was obtained the largest values of Cmic and Nmic, in all of the soil layers evaluated, indicating that the introduction of land use change and vegetation management reduced significantly those variables. Differences in the appraised attributes among the areas in the rainy seasonal were observed. Excepting the CE area, the largest values of Cmic and Nmic was observed in the PA-20 and the smallest in SPC -29. Significant differences were not observed among the land use change and vegetation management systems for the BB and qCO_2 . Those results indicated better conditions to the microbial development in the pasture, probably due to the grassy cultivation, the animal excretion and the land use change from CE to PA-20 system. The adoption of SPD was important factor in the Cmic and Nmic increase in relation to SPC, possibly due to the non soil rotation, the contribution of vegetables residues in the soil surface and better microbial adaptation that condition. The alterations in the microbiologicals attributes in the areas with different uses of the soil pointed that the largest balance was in the soil under Savannah system.

Key words: soil organic matter, no-till, biological indicators, Savannah

5.1 INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado ocupa uma área de aproximadamente 200 milhões de hectares do território brasileiro e seus solos são extensamente utilizados para a agricultura e pecuária. Cerca de 50 milhões de hectares são ocupados com pastagens e 14 milhões de hectares por lavouras, representando 55% da produção brasileira de carne e grãos (soja, milho, arroz e feijão) (Embrapa, 2005).

A alta intemperização, elevada acidez e baixa disponibilidade de nutrientes, caracterizam os solos do Cerrado, tornando-os, dessa forma, amplamente dependentes da matéria orgânica do solo (MOS). Com a remoção da vegetação nativa para fins agrícolas ocorre uma quebra nos ciclos do carbono (C), do nitrogênio (N) e de outros nutrientes (MALAVOLTA, 1987).

Nesse contexto, o detrimento da qualidade e quantidade da MOS pelas práticas agrícolas, diminui a atividade da biomassa microbiana do solo (BMS), principal responsável pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do sistema (DALAL, 1998).

O SPD e a pastagem são considerados práticas favoráveis ao desenvolvimento dos microorganismos, influenciando tanto na quantidade como na atividade da BMS, devido ao não revolvimento e deposição dos resíduos culturais em superfície em relação ao SPC (ANDERSON, 2003).

No SPC ocorre o revolvimento estimula o desenvolvimento de microrganismos e os processos oxidativos da MOS pela BMS (BRELAND; ELTUN, 1999).

Apesar do crescente interesse nos aspectos biológicos do solo sob sistemas naturais e agrícolas, estudos sobre o impacto de diferentes sistemas de manejo na biomassa e sua atividade em solos do bioma Cerrado ainda são recentes (MATSUOKA et al., 2003; PEREZ et al., 2005; XAVIER et al., 2006; COSER et al., 2007 e FIGUEIREDO et al., 2007).

O C e o N da biomassa microbiana (C_{mic} e N_{mic}), as relações do C_{mic}/C_{total} e N_{mic}/N_{total} e o coeficiente metabólico (qCO_2) podem ser empregados como indicadores para avaliar as mudanças no ambiente e se apresentam úteis no monitoramento da mudança do uso da terra (ANDERSON, 2003), obtendo-se conclusões mais abrangentes sobre a sustentabilidade de agroecossistemas (CERRI et al., 1985).

O objetivo deste estudo foi verificar alterações nos atributos biológicos de qualidade do solo após da adoção de sistemas de manejo em áreas originalmente ocupadas pelo Cerrado nativo em um Latossolo no Cerrado do Estado de Goiás.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Localização e descrição da área

A descrição da área de estudo está apresentada no item 2.2.1 desta dissertação.

5.2.2 Escolha e caracterização das áreas

A escolha e caracterização das áreas estão descritas no item 2.2.2. Porém, nesse capítulo as áreas SPD-3 e SPD-7 não foram utilizadas.

5.2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado, pelas áreas estarem sob as mesmas condições edafo-climáticas, com parcelas subdivididas, constando de cinco áreas (tratamentos), com seis repetições.

5.2.4 Amostragem do solo

Efetuar-se duas amostragens do solo, a primeira em julho de 2006 (época seca) e a segunda em fevereiro de 2007 (época chuvosa). Selecionou-se uma área com

aproximadamente 1 há (100 x 100 m) em cada tratamento e foram coletadas amostras de solo em seis trincheiras (repetições), distantes dez metros entre si, até 20 cm de profundidade seccionada nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

As duas coletas consistiram na retirada de amostras indeformadas de solo com o auxílio de espátulas, sendo imediatamente acomodadas em sacos plásticos, contendo um ‘respiro’ de papel, acondicionadas em caixa térmicas. No laboratório as amostras foram peneiradas a 2 mm e mantidas em câmara fria (refrigeração a 4° C) até o momento das análises.

5.2.5 Estimativa do C e N microbiano do solo

Os teores de C, assim como os de N, foram realizados conforme o item 2.2.5.

Para a estimativa da BMS foi utilizado o método da Fumigação-Extração (VANCE et al., 1987). A concentração do C_{mic} foi determinada no equipamento Shimadzu TOC-5000A. O N_{mic} foi determinado pelo método da ninhidrina (JOERGENSEN; BROOKES, 1990), sendo a detecção realizada em um espectrofotômetro a 570 nm. Para o cálculo das concentrações foi utilizado o fator de correção de 0,33 para o C_{mic} e 3,1 para o N_{mic} que representam, respectivamente, a eficiência de extração do C e N-ninhidrina (SPARLING; WEST, 1988).

As relações $C_{mic}:C_{total}$ e $N_{mic}:N_{total}$ foi calculado dividindo-se o valor de C_{mic} e N_{mic} pelos respectivos valores de C_{total} e N_{total} . O resultado foi multiplicado por 100, para que os valores adquirissem caráter de porcentagem.

5.2.6 Estimativa da respiração basal do solo e do coeficiente metabólico (qCO_2)

A respiração basal do solo (RB) foi determinada pela quantificação do dióxido de carbono (CO_2) liberado no processo de respiração microbiana durante 10 dias de incubação. O CO_2 foi determinado por medida condutivimétrica de acordo com Rodella e Saboya (1999) e

expresso em $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$. O coeficiente metabólico ($q\text{CO}_2$) foi calculado pela razão entre a RB e o C_{mic} (ANDERSON; DOMSCH, 1990).

5.2.7 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$) e para as correlações lineares foi aplicado o Teste t ($p < 0,01$ e $0,05$), utilizando o programa Assistat (SILVA, 2006).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.3.1 C e N do solo e microbiano

Os teores de C e N do solo (0-20 cm) estão apresentados e discutidos nos itens 3.3.1.

Os resultados observados na estação chuvosa foram significativamente maiores em relação à estação seca ($p < 0,05$), exceto para o $q\text{CO}_2$ com valores menores. Os teores de C_{mic} e N_{mic} e as relações $C_{\text{mic}}:C_{\text{total}}$ e $N_{\text{mic}}:N_{\text{total}}$, foram em média, 100% maiores, enquanto os valores do $q\text{CO}_2$ foram 100% menores (Tabelas 5.1 e 5.2).

Menores valores de $q\text{CO}_2$ na época chuvosa refletem a maior eficiência de imobilização de C na biomassa microbiana. Esses resultados eram esperados uma vez que as variáveis climáticas como a precipitação e a temperatura são as que exercem maior influência na dinâmica microbiana (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Na estação chuvosa a umidade do solo estava, em média, 60% maior que na estação seca, para todas as áreas (Figura 5.1). A umidade do solo é fator importante a ser considerado, visto que está diretamente ligada a atividade dos microrganismos no solo. E a interação da BMS entre a umidade e a temperatura do solo, crescimento e aporte de material vegetal, conduz a uma maior eficiência da BMS liberando menos e incorporando mais C no período de temperatura e umidade mais elevadas (WARDLE, 1992). Além de sugerir que a BMS atuou

como um compartimento de reserva de nutrientes, não ocorrendo intenso processo de lixiviação nesses períodos (ESPINDOLA et al., 2001).

Entre as camadas de solo não foram observados, no geral, diferenças significativas nos parâmetros avaliados dentro de cada área e estação avaliada (Tabelas 5.1 e 5.2). O fato de a atividade biológica estar concentradas na camada 0-30 cm de solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007), devido à maior concentração e facilidade de difusão dos gases (CO_2 e O_2), maior concentração de resíduos e maior atividade radicular (REICHART; TIMM, 2004) podem justificar os valores semelhantes observados entre as camadas.

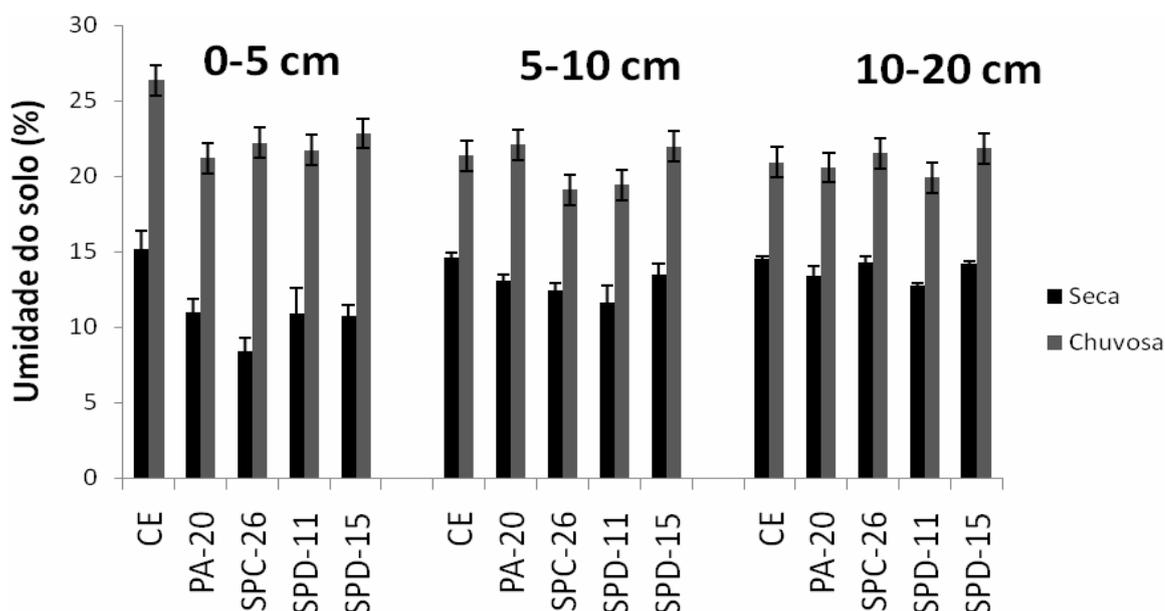


Figura 5.1 - Valores médios da umidade do solo nas camadas e épocas estudadas em Rio Verde (GO).

A discussão dos resultados obtidos se restringiu a camada 0-5 cm de solo, pois foi nessa camada que as diferenças entre as áreas estudadas foram evidentes em relação aos parâmetros utilizados.

Os resultados referentes aos teores de C e N microbianos nas áreas avaliadas estão apresentados na tabela 5.1. Em ambas as estações (seca e chuvosa) e camadas de solo

verificadas, os maiores teores foram observados no CE (0-5 cm) para o Cmic (579,40 e 1111,10 mg kg⁻¹) e para o Nmic (35,7 e 60,7 mg kg⁻¹), respectivamente para as estações seca e chuvosa.

Entre os sistemas agrícolas (0-5 cm) foram verificados teores de Cmic significativamente maiores na PA-20 (286,22 mg kg⁻¹) na estação seca. E na estação chuvosa nas áreas sob PA-20 (638,04 mg kg⁻¹) e SPD-15 (525,09 mg kg⁻¹).

Consideradas individualmente as áreas implantadas indicaram reduções no Cmic semelhantes em ambas as estações verificadas, de 46% na PA-20, 72% no SPC-29 e 67% no SPD-10 (67%). A exceção foi à área SPD-15 que indicou menor redução na estação chuvosa, com 52% e 68% na estação seca, o pode ter refletido no maior valor de Cmic verificado, junto à área PA-20.

Para o Nmic foi verificado diferenças estatísticas entre as áreas avaliadas apenas na camada de solo 0-5 cm da estação chuvosa, com maiores valores na PA-20 (43,30 mg kg⁻¹), SPD-10 (34,1 mg kg⁻¹) e SPD-15 (35,7 mg kg⁻¹).

Em relação ao CE, as reduções do teor de Nmic nos sistemas de manejo do solo foram mais discrepantes em comparação ao valores do Cmic, com 41, 55, 34 e 50% na época seca e 29, 70, 44 e 41% na época chuvosa, respectivamente para a PA-20, SPC-29, SPD-10 e SPD-15.

Reduções nos teores de Cmic e Nmic em solos de Cerrado, semelhantes a da presente pesquisa, sob uso agrícola em relação a vegetação nativa também foram observadas por Oliveira (2000), D'andrea et al. (2002), Matsuoka et al. (2003) e Perez et al. (2005). Indicando que a introdução de diferentes sistemas de uso e manejo do solo em áreas de Cerrado conduz a menores teores de Cmic e Nmic.

No estudo realizado por Oliveira (2000), num Latossolo Vermelho amarelo na região de Planaltina (DF), foram observadas reduções do Cmic (0-5 cm) em relação a área nativa de

52% sob áreas com culturas anuais e contínuas, independentemente da estação de avaliação (seca ou chuvosa).

Matsuoka et al. (2003) em pesquisa sobre a biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob Cerrado (época chuvosa), verificaram em sistemas de cultivo perene (vinhedo) e anual (7 anos sob SPD seguido de 1 sob SPC) reduções do C_{mic} de, respectivamente, 66 e 75% (0-5 cm) em relação ao solo sob Cerrado.

O não revolvimento e a cobertura permanente do solo na área CE possivelmente foram os principais fatores que contribuíram para a manutenção da comunidade microbiana. Esses fatores favorecem o acúmulo dos resíduos na superfície (menores variações de temperatura e umidade) e a maior presença de raízes, aumentam a quantidade de substratos microbianos no sistema via exudatos (BOPALAH; SHETTI, 1991), refletindo diretamente nos maiores teores de C e N microbianos.

Além da maior diversidade florística existente na área CE que provavelmente promoveu maior variabilidade na composição da MOS, com melhores condições a microbiota neste sistema (BANDICK; DICK, 1999).

Na pastagem (PA-20) provavelmente ao cultivo de gramínea, o efeito da excreção dos animais e a reforma da área no início da época chuvosa (adição de fertilizantes e revolvimento do solo), foram capazes de aumentar a disponibilidade de nutrientes que, conseqüentemente, estimulando a biomassa microbiana, os quais proporcionaram os maiores teores de C_{mic} encontrados em relação às demais áreas agrícolas.

Tabela 5.1 C e N da biomassa microbiana (Cmic e Nmic) do solo e relações Cmic:Ctotal e Nmic:Ntotal (n=6) nas áreas e camadas avaliadas em Rio Verde (GO).

| Áreas | Época seca | | | Época chuvosa | | |
|--|------------|----------|-----------|---------------|-----------|-----------|
| | 0-5 | 5-10 | 10-20 | 0-5 | 5-10 | 10-20 |
| Cmic (mgC kg⁻¹ solo) | | | | | | |
| CE | 579,4 aA | 467,5aAB | 347,8 aB | 1111,1 aA | 733,9 aB | 510,3 aB |
| PA-20 | 286,2 bA | 161,8 cB | 115,7 dB | 638,0 bA | 412,4 bB | 354,5 bB |
| SPC-29 | 167,1 cA | 111,7 dA | 152,2 cdA | 293,7 dA | 261,9 cB | 241,8 cA |
| SPD-10 | 196,4 cA | 241,8 bA | 231,1 bA | 447,3 cA | 286,8 cB | 291,2bcAB |
| SPD-15 | 184,9 cA | 185,2 cA | 211,4 bA | 525,0 bcA | 356,5 bcB | 313,0 bcB |
| Nmic (mgN kg⁻¹ solo) | | | | | | |
| CE | 35,7 aA | 23,1 aA | 22,8 aA | 60,7 aA | 44,0 aAB | 30,3 aB |
| PA-20 | 20,8 bA | 14,8 bAB | 11,3 bB | 43,3 bA | 40,0 aA | 21,0 bB |
| SPC-29 | 16,2 cA | 13,8 bA | 13,4 bA | 18,2 dA | 19,5 bA | 19,3 bA |
| SPD-10 | 23,3 bA | 18,0 abA | 13,4 bB | 34,1 cA | 20,2 bB | 18,4 bB |
| SPD-15 | 21,7 bA | 10,4 bB | 10,1 bB | 35,7 cA | 18,6 bB | 19,0 bB |
| Cmic:Nmic | | | | | | |
| CE | 16,3 a | 22,3 a | 16,0 a | 18,7 a | 20,0 a | 15,9 b |
| PA-20 | 14,0 a | 10,9 b | 10,5 b | 14,3 b | 10,5 c | 17,9 b |
| SPC-29 | 11,1 b | 8,3 bc | 10,9 b | 17,6 a | 14,1 b | 14,3 b |
| SPD-10 | 9,1 b | 13,6 b | 17,6 a | 10,4 c | 14,3 b | 16,2 b |
| SPD-15 | 10,6 b | 18,1 a | 17,8 a | 15,9 b | 19,0 a | 17,2 b |
| Cmic:Ctotal (%) | | | | | | |
| CE | 1,4 aB | 1,9 aA | 1,7 aA | 2,7 aA | 2,9 aA | 2,8 aA |
| PA-20 | 1,2 bA | 0,8 cAB | 0,6 cB | 2,0 abA | 2,0 abA | 1,9 bA |
| SPC-29 | 0,8 cA | 0,5 dB | 0,9 bA | 1,4 bA | 1,3 bA | 1,6 bA |
| SPD-10 | 1,1 bA | 1,2 bA | 1,2 bA | 1,4 bA | 1,4 bA | 1,5 bA |
| SPD-15 | 1,2 bA | 0,8 cA | 0,9 bA | 1,9 abA | 1,6 bA | 1,6 bA |
| Nmic:Ntotal (%) | | | | | | |
| CE | 1,6 aA | 1,6 aA | 2,3 aA | 2,4 abA | 2,1 abA | 2,4 aA |
| PA-20 | 1,5 aA | 1,2 abA | 1,3 abA | 3,3 abA | 3,0 aA | 2,2 ab |
| SPC-29 | 1,1 aA | 1,3 abA | 1,1 bA | 1,2 cA | 1,8 abA | 1,5 aA |
| SPD-10 | 1,4 aA | 1,6 aA | 1,3 abA | 1,9 bA | 1,8 abB | 1,8 ab |
| SPD-15 | 0,9 aA | 0,8 bA | 1,0 bA | 2,1 bA | 1,4 bA | 1,9 aA |

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%.¹CE: Cerrado nativo; PA-20: pastagem com 20 anos de implantação (*Brachiaria decumbens*); SPC-29: sistema plantio direto com 29 anos de implantação (soja/milho); SPD-3, SPD-7, SPD-10 e SPD-15: sistema plantio direto (soja/milho) com, respectivamente, 3, 7, 10 e 15 anos de implantação.

Apesar das características de degradação na área PA-20 o elevado efeito rizosférico da gramínea, amplamente documentado na literatura (ALEXANDER, 1980; REID & GOSS, 1980; SALTON, 2005), possivelmente conduziu ao desenvolvimento da biomassa microbiana com reflexo nos maiores teores de Cmic e Nmic.

D'andréa et al. (2002) pesquisando os atributos biológicos da qualidade do solo no Cerrado em Morrinhos (GO), observaram diferenças significativas nos teores de Cmic apenas entre uma área de pastagem e um SPC na época chuvosa e camada de solo 0-10 cm, ambos com 15 anos de implantação, mas não em relação a um SPD, também com 15 anos. Os autores atribuíram esse fato ao possível efeito rizosférico, mesmo com a baixa diversidade da cobertura vegetal, proporcionado pela gramínea.

Garcia & Nahas (2007) verificaram maiores teores de Cmic (de 154 à 459 mg kg⁻¹) e Nmic (de 2,49 à 6,15 mg kg⁻¹) em solo pastejado com diferentes lotações de ovinos em relação ao controle (época chuvosa) sob Latossolo vermelho (0-10 e 10-20 cm) em Jaboticabal (SP); os autores sugeriram que essa observação seja resultante da excreção dos animais.

Entre os sistemas de plantio, o SPD-15 indicou o maior teor de Cmic em relação ao SPC-29 apenas na estação chuvosa e para a área com maior tempo de implantação desse sistema, com 15 anos. Os resultados observados além de sugerir que o maior tempo de adoção do SPD possa ser um fator importante no aumento do Cmic, indicaram que na época seca, a microbiota dos solos dessas áreas provavelmente se comporte de maneira semelhante possivelmente pela indisponibilidade de umidade que inviabilizaria os processos metabólicos microbianos.

Na área sob SPC-29, o revolvimento do solo e a maior umidade do solo na época chuvosa provavelmente aceleraram os processos oxidativos da MOS com reflexo na redução

do C_{mic} (D'ANDRÉA et al., 2004). A ruptura dos agregados do solo devido ao revolvimento é maior sob SPC que sob SPD (SIX et al., 1999), gerando melhor ambiente ao ataque microbiano aeróbico (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

No SPD-10, com 10 anos de implantação do SPD, os menores teores de C_{mic} em relação ao SPD-15 sugeriram que essa área ainda esteja passando por um período de adaptação desse sistema. Segundo D'andréa et al. (2002), nessas áreas ainda podem estar ocorrendo alterações na biomassa microbiana, as quais devem estender-se até que um novo nível de equilíbrio seja atingido.

Em situação semelhante a do presente estudo, Costa et al. (2006) observaram (0-10 cm) na estação chuvosa, maiores valores de C_{mic} sob SPD em relação a um SPC com teores de, respectivamente, 358 e 228 $mg\ kg^{-1}$, em sistemas implantados há 10 anos (soja/milho) em Latossolo de Cerrado em Planaltina (DF),

Porém, o autor não relatou diferenças em áreas sob SPC e SPD, ambos com 8 anos de implantação e a mais de 20 anos sendo cultivados, com teores de 310 e 256 $mg\ kg^{-1}$, respectivamente, concordando com o presente estudo.

Souza et al. (2006) pesquisando as frações do C, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob Cerrado, em Costa Rica (MS), não verificaram diferenças nos teores de C_{mic} entre um SPC e um SPD, mas observaram maiores teores entre uma pastagem e o SPD, em áreas com apenas dois anos de implantação.

Assim, é possível que a área sob SPD-15 tenha atingido estado favorável ao aumento do teor de C_{mic} , evidenciando que o não revolvimento do solo, a manutenção dos resíduos deixados em superfície e o longo tempo de implantação (15 anos) estimularam o desenvolvimento microbiano com o aumento da umidade do solo.

Outra influência importante a ser considerada nos estudos envolvendo o C_{mic} e N_{mic} se deve as culturas utilizadas nas áreas (CONTE et al., 2002). Porém, as culturas no momento

das coletas de solo diferiram apenas na estação seca, onde não foram detectadas diferenças entre os sistemas agrícolas. Dessa forma é possível que os resultados observados no presente estudo na época chuvosa evidenciam principalmente os efeitos do manejo.

A diferença no Nmic (0-5 cm) na estação chuvosa pode ser atribuída, segundo Figueiredo et al. (2007), ao preparo do solo que ocorre com o início das chuvas juntamente com a incorporação dos restos culturais, somado a adubação nitrogenada no plantio e a primeira cobertura, que aumentaria o Nmic do solo independente do manejo.

Vargas et al. (2005) avaliando a imobilização de N em Latossolo vermelho cultivado com milho em sucessão à aveia preta em Eldorado do Sul (RS) citaram que a quantidade de Nmic (0-5 cm) foi afetada significativamente pelos sistemas de manejo, com maiores teores no SPD (em torno de 35 mg kg^{-1}) em relação ao SPC (em torno de 19 mg kg^{-1}).

Os resultados dos teores de Cmic e Nmic verificados seguiram de uma forma geral, a mesma tendência e indicaram que a estação chuvosa foi à época mais adequada para se detectar diferenças entre as áreas submetidas a diferentes sistemas de uso e manejo.

5.3.2 Relações Cmic:Ctotal e Nmic:Ntotal

A relação Cmic:Ctotal é um índice da capacidade de acúmulo de C na BMS relativo ao C-orgânico (SPARLING, 1992) que pode ser usada na avaliação de sistemas alterados pelas práticas agrícolas (ANDERSON, 2003). E a relação Nmic:Ntotal expressa a fração mineralizável do N, ou seja, expressa o potencial de N-inorgânico no solo disponível para a cultura subsequente (McGILLET al., 1988).

Os valores obtidos nas relações Cmic:Ctotal e Nmic:Ntotal apresentaram a mesma tendência observada para os teores de Cmic e Nmic na camada 0-5 cm de solo em ambas as estações avaliadas.

Os maiores valores das relações foram observados no CE, respectivamente na época seca e chuvosa, de 1,4 e 2,7% para o $C_{mic}:C_{total}$ e para o $N_{mic}:N_{total}$ de 1,6 e 2,4%, respectivamente nas estações seca e chuvosa. Entre os sistemas de manejo, maiores valores na PA-20 na estação seca e na PA-20 e SPD-15 na estação chuvosa.

Considerando que a BMS é um constituinte da MOS, a quantificação das relações $C_{mic}:C_{total}$ e $N_{mic}:N_{total}$ permitem acompanhar as perturbações sofridas e variações na MOS ocasionadas pelo manejo do solo, pois reage com maior rapidez que os parâmetros físico-químicos (CATTELAN; VIDOR, 1990; ALVAREZ et al., 1995).

Pelos valores das relações microbianas e totais abaixo dos propostos obtidos neste estudo, infere-se que todos os ecossistemas provocam alteração no equilíbrio ecológico do solo em relação ao ecossistema natural de Cerrado, que apresentou os maiores valores de C_{mic} , N_{mic} , C e N total e relações $C_{mic}:C_{total}$ e $N_{mic}:N_{total}$.

5.3.3 Respiração basal do solo e qCO_2

Não foram verificadas diferenças significativas nos valores da respiração basal entre as áreas estudadas. Assim, somente a taxa de respiração não é suficiente como um bom indicativo para explicar o comportamento distinto entre as áreas estudadas. Altas taxas de respiração nem sempre são indicativos de condições favoráveis, uma vez que significam rápida liberação de nutrientes para as plantas, e ao longo prazo, perda de C orgânico total do solo (D'ANDRÉA et al, 2002).

O qCO_2 é considerado mais sensível à variação de manejo e usualmente utilizado como indicador ecofisiológico das mudanças na comunidade microbiana do solo, o quociente metabólico (qCO_2) representa a relação entre as quantidades de CO_2 produzidas por unidade de C da biomassa microbiana, por unidade de tempo (ANDERSON, 2003).

Dessa forma, maiores valores de $q\text{CO}_2$ são encontrados em condições ambientais estressantes, nas quais a BMS consome mais carbono para sua manutenção (ANDERSON; DOMSCH, 1993). Segundo Gama- Rodrigues (1999) à medida que a BMS se torna mais eficiente, menos C é perdido como CO_2 , pela respiração, e uma fração significativa é incorporada ao tecido microbiano, resultando em maiores teores de C_{mic} .

No presente trabalho, os valores de $q\text{CO}_2$ na camada 0-5 cm de solo refletiram a mesma tendência observada para os valores de C_{mic} e $C_{mic}:C_{total}$ apenas na estação seca, com menores valores para o CE e intermediário para a PA-20 na camada 0-5 cm de solo, indicando maior quantidade de C sendo imobilizada nas áreas CE e PA-20 em relação às demais.

É importante mencionar a estreita ligação entre a relação $C_{micro}:C_{total}$ e $q\text{CO}_2$. Pois, se a respiração de uma comunidade é baixa por unidade de biomassa (baixo $q\text{CO}_2$), mais C estará disponível para a produção de biomassa os quais deveriam refletir em uma maior relação $C_{micro}:C_{total}$ e vice-versa (ANDERSON, 2003).

Porém, não foi verificada a mesma tendência na estação chuvosa, que detectou maior teor de C_{mic} e $C_{mic}:C_{total}$ no SPD-15 na camada 0-5 cm de solo o que ocasionalmente indicaria um menor valor de $q\text{CO}_2$. Esse resultado sugeriu que a época de amostragem pode interferir nos valores de $q\text{CO}_2$, sendo mais eficiente aplicar esse indicador análises na época seca.

Tabela 5.2 - Estimativa da respiração basal do solo (RB) e coeficiente metabólico (qCO₂) nas áreas e camadas avaliadas (n=6) em Rio Verde (GO).

| Áreas | Época seca | | | Época chuvosa | | |
|---|------------|----------|----------|---------------|----------|----------|
| | 0-5 cm | 5-10 cm | 10-20 cm | 0-5 cm | 5-10 cm | 10-20 cm |
| RB (mg C-CO₂ g⁻¹ h⁻¹) | | | | | | |
| CE | 5,6 aA | 3,8 aA | 4,4 aA | 7,48 aA | 5,82 aB | 4,52 abB |
| PA-20 | 4,3 aA | 4,3 aA | 4,8 aA | 4,43 bA | 4,19 abA | 3,82 bB |
| SPC-29 | 4,0 aA | 3,8 aA | 3,7 aA | 6,34 abA | 3,07 bA | 3,83 aA |
| SPD-10 | 3,7 aA | 4,2 aA | 4,4 aA | 4,23 bA | 3,35 abA | 2,87 abA |
| SPD-15 | 4,4 aA | 3,4 aA | 3,7 aA | 5,32 bA | 3,63 abA | 3,08 bA |
| qCO₂ (mg C-CO₂ g⁻¹ h⁻¹ / mgC kg⁻¹ solo) x 10⁻³ | | | | | | |
| CE | 0,99 cB | 0,82 dAB | 1,27 cA | 0,69 dA | 1,08 aB | 1,18 bA |
| PA-20 | 1,50 cB | 2,68 bB | 3,55 aA | 0,79 cdA | 2,18 aA | 0,99 bA |
| SPC-29 | 2,42 aA | 3,37 aA | 3,06 abA | 0,89 abA | 1,18 aA | 1,04 aA |
| SPD-10 | 2,04 bA | 1,81 cA | 2,02 bA | 0,78 bA | 1,43 aA | 1,12 bA |
| SPD-15 | 2,36 abA | 1,72 cA | 2,30 bA | 1,15 aA | 1,23 aA | 1,04 bA |

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5%. ¹CE: Cerrado nativo; PA-20: pastagem com 20 anos de implantação (*brachiaria decumbens*); SPC-29: sistema plantio direto com 29 anos de implantação (soja/milho); SPD-3, SPD-7, SPD-10 e SPD-15: sistema plantio direto (soja/milho) com, respectivamente, 3, 7, 10 e 15 anos de implantação.

De uma forma geral os resultados da respiração basal e qCO₂ verificados concordam com D'andréa et al. (2002), que observaram valores sem diferenças significativas entre as áreas avaliadas, respectivamente para um Cerrado (19,41 e 0,36), pastagem (21,20 e 0,72), SPD (21,20 e 1,76) e SPC (18,25 e 2,14).

Os autores atribuíram esses resultados a recente implantação das áreas sob SPD e destacam que deve se levar em consideração que apenas 15-30% da BMS e que o restante dos microorganismos estão latentes ou inativos, o que pode causar dificuldades adicionais na interpretação dos resultados do qCO₂.

De uma forma geral, os resultados observados no presente trabalho indicaram ambiente mais estável sob CE em relação aos sistemas introduzidos devido aos maiores valores de C_{mic} e N_{mic} e menores valores de qCO₂.

A introdução de sistemas de manejo e uso do solo conduz a propriedades microbiológicas inferiores. E a pastagem, mesmo com características de degradação, evidenciou o provável efeito benéfico do cultivo de gramínea nas características microbiológicas estudadas, em relação aos sistemas agrícolas, por apresentar os valores mais próximos do CE.

5.4 CONCLUSÕES

A época chuvosa e a camada 0-5 cm de solo foi mais eficiente para se detectar diferenças nas características microbiológicas do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo, possivelmente disponibilidade de umidade viabilizaria os processos metabólicos microbianos.

Os sistemas de uso do solo sob pastagem, SPC e SPD reduzem o C_{mic} e N_{mic} em relação a áreas sob vegetação nativa.

As relações $C_{mic}:C_{total}$ e $N_{mic}:N_{total}$ seguiram a mesma tendência observada para o C_{mic} e N_{mic} , respectivamente, enquanto o qCO_2 não.

A pastagem, mesmo com características de degradação, apresentou C_{mic} e N_{mic} superiores ao SPC e SPD, provavelmente devido ao cultivo da gramínea, a excreção dos animais e a reforma da área.

O maior tempo de adoção do SPD pode ser um fator importante no aumento do C_{mic} e N_{mic} , e em ao menos 15 anos de implantação indicou maiores valores de C_{mic} em relação ao SPC, enquanto para o N_{mic} 10 anos de implantação, possivelmente a adaptação da biomassa microbiana a essa nova condição.

6 CONCLUSÃO GERAL

A prática do SPD na região do Cerrado estudado diminuiu a densidade do solo e aumentou os teores e estoques de C com o maior tempo de implantação e alcançou valores semelhantes ao da vegetação nativa na camada 0-40 cm de solo em ao menos 10 anos de uso.

Foi observado que os maiores teores de argila nas áreas sob SPD-10 e SPD-15 em relação às áreas sob SPD-3 e SPD-7 influenciaram nos maiores teores e estoques de C encontrado nas primeiras áreas, fato amplamente conhecido e verificado no presente trabalho.

Por outro lado a prática do SPC, principalmente devido ao revolvimento do solo e a pastagem, quando de baixa produtividade, promoveram diminuições nos teores e estoques de C e aumento da densidade do solo na camada 0-40 cm.

Considerando as áreas sob SPD, foi observada uma taxa média de acúmulo anual de C de $1,17 \text{ Mg ha}^{-1}$, evidenciando o potencial de aumento nos níveis de MOS e menor emissão de C para a atmosfera nessa região do Cerrado.

O Latossolo vermelho de Cerrado pesquisado possuiu alta estabilidade de agregação e o uso de sistemas de plantio causou redução de agregados $>2,00 \text{ mm}$, enquanto a área sob pastagem não foi afetada. O SPD apresentou maiores quantidades de agregados $>2,00 \text{ mm}$ em relação ao SPC com o tempo de implantação na camada 0-5 cm, acompanhado pelos maiores teores de C nessas classes.

Apesar de verificado maior agregação do solo na área sob pastagem, o C contido nas classes $>2,00$ e $2,00-0,25 \text{ m}$ na camada 0-5 cm foram maiores nas áreas sob CE e SPD especialmente na área SPD-15 (provavelmente ao maior tempo de implantação).

Os teores de C nos agregados do solo na camada 0-5 cm possuíram positiva correlação com o DMP e o estoque de C, sugerindo que a preservação dessas classes de maior tamanho é importante para o acúmulo e conseqüente aumento no estoque de C. E a exceção da pastagem

em relação a essa tendência pode evidenciar o importante papel de óxidos na agregação de solos tropicais.

Apesar de importante, somente a agregação do solo não foi o principal fator para aumento nos teores de C. Mas possivelmente esse fato associado à maior ciclagem e conservação dos agregados, processo realizado pela entrada de resíduos vegetais no solo (matéria orgânica leve livre), como observado para o CE e SPD-15, com menor intensidade no SPD-10, em relação a PA-20 e o SPC-29.

Apesar dos menores teores e estoque de C e MOS leve livre em relação ao Cerrado nativo, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ indicaram alta substituição da MOS proveniente do Cerrado na pastagem (83%). Esse fato pode estar associado ao cultivo anterior da área sob SPC, que diminuiu a quantidade de C do solo e com a introdução da gramínea (há 20 anos) houve grande incorporação de MOS proveniente de planta de ciclo C_4 .

A área de Cerrado avaliada indicou maior fixação biológica de N em relação à pastagem devido aos menores valores de $\delta^{15}\text{N}$ observados.

Em relação às características microbiológicas verificadas, a época chuvosa e a camada 0-5 cm de solo foi mais eficiente para se detectar diferenças nas características microbiológicas do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo, possivelmente disponibilidade de umidade viabilizaria os processos metabólicos microbianos.

Os sistemas de uso do solo sob pastagem, SPC e SPD reduzem o C_{mic} e N_{mic} em relação a áreas sob vegetação nativa. E as relações $\text{C}_{\text{mic}}:\text{C}_{\text{total}}$ e $\text{N}_{\text{mic}}:\text{N}_{\text{total}}$ seguiram a mesma tendência observada para o C_{mic} e N_{mic} , respectivamente, enquanto o qCO_2 não.

A pastagem, mesmo com características de degradação, apresentou C_{mic} e N_{mic} superiores ao SPC e SPD, provavelmente devido ao cultivo da gramínea, a excreção dos animais e a reforma da área. Enquanto o maior tempo de adoção do SPD pode ser um fator importante no aumento do C_{mic} e N_{mic} , e em ao menos 15 anos de implantação indicou

maiores valores de Cmic em relação ao SPC, enquanto para o Nmic 10 anos de implantação, possivelmente a adaptação da biomassa microbiana a essa nova condição.

7 REFERÊNCIAS

ALEXANDER, M. **Introducción a la microbiología del suelo**. México, D.F.: Libros y Editoriales, 1980. 491 p.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A.C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agrossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 933-942, 1999.

ALVARENGA, R. C. et al. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes método de preparo do solo e de manejo da palhada do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 273–277, 1986.

ALVAREZ, R. et al. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 33, p.17-28, 1995.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 130, p. 211-216, 1980.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of ecophysiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 22, p. 251-255, 1990.

ANDERSON, T. H.; DOMSH, K.H. The metabolic quotient (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environment conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, p. 393-395, 1993.

ANDERSON, T. H. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 98, p. 258-293, 2003.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, p. 66-75, 2007.

ASSIS, C. P. et al. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 1541-1550, 2006.

BAISDEN, W. T. et al. A multi-isotope C and N modeling analysis of soil organic matter turnover and transport as a function of soil depth in a California annual grassland soil chronosequence. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 16, p. 1135-1143, 2002.

BALBINO, L. C. et al. Mise en valeur des Ferralsols de la region du Cerrado (Brasil) et evolution de leurs proprietates physiques: une 'etude bibliographique. **'Etude et Gestion des Sols**, Olivet, v. 9, p. 83-104, 2002.

BALESDENT, J.; MARIOTTI, A. Measurement of soil organic matter turnover using ^{13}C natural abundance. In: BOUTTON, T. W.; YAMASAKI, S. **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 83-111.

BALESDENT, J. et al. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p. 215-230, 2000.

BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzymes activities. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, p. 1471-1479, 1999.

BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, p. 237-245, 2006.

BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 677-683, 2004.

BAYER, C. et al. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p. 95-104, 2000.

BERNOUX, M. et al. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n. 3, p. 743-749, 1998.

BERNOUX, M. et al. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Les Ulis, v. 26, p. 1-8, 2006.

BLAKE, G. R., HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Physical and mineralogical methods. Madison: ASA, 1986. p. 363-375.

BONDE, T. A. et al. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 20, n. 4, p. 447-452, 1988.

BOPAIAH, B. M.; SHETTI, H. S. Soil microflora and biological activities in the rhizospheres and root regions of coconut-based multistoreyed cropping and coconut monocropping systems. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 17, p. 297-302, 1991.

BRELAND, T. A.; ELTUN, R. Soil microbial biomass and mineralization of carbon and nitrogen in ecological, integrated and conventional forage and arable cropping systems. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 30, p. 193-210, 1999.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, p. 3-22, 2005.

BUSTAMANTE, M. M. C. et al. ^{15}N natural abundance in woody plants and soils of Central Brazilian savannas (cerrado). **Ecological Applications**, Washington, v. 14, n. esp. 4, p. 200-213, 2004.

CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, G. A.; GUERRA, J. G. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 27-40.

CAMARGO, F. A. O. et al. Nitrogênio orgânico do solo. In: CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, G. A. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 117-137.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T., Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, p. 449-457, 1992.

CAMPBELL, G. S. et al. Probe for measuring soil specific heat using a heat pulse method. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p. 291-293, 1991.

CAMPOS, B. C. et al. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 121-125, 1995.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, p. 99-105, 1990.

CARTER, M. R.; RENNIE, D. A. Changes in soil quality under zero tillage farming systems: Distribution of microbial biomass and mineralizable C and N potentials. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 62, p. 587-597, 1982.

CARVALHO, J. L. N. et al. Changes of chemical properties in an Oxisol after clearing of native Cerrado vegetation for agricultural use in Vilhena, Rondonia State, Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 96, p. 95-102, 2007.

CASSEL, D. K. **Physical characteristics of soils of the Southern Region-Summary of in situ unsaturated hydraulic conductivity**. Raleigh: North Carolina State University Southern Cooperative Service, 1985. 143 p. (Bulletin, 303).

CASTRO FILHO, C. et al. Estabilidade de 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**, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.

CASTRO FILHO, C. et al. Aggregate stability under different soil management systems in a Red Latosol in the state of Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, p. 45-51, 2002.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Sistemas de culturas e a população microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 125-132, 1990.

CENTURION, J. F. et al. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 254-258, 2001.

CERRI, C. C. et al. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, p. 1-4, 1985.

CERRI, C. E. P. et al. Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, p. 1879-1887, 2003.

CHONÉ, T. et al. Changes in organic matter in an oxisol from the Central Amazonian forest during eight years as pasture, determined by ^{13}C isotopic composition. In: BERTHELIN, J. (Ed.). **Diversity of environmental biogeochemistry**. Amsterdam: Elsevier, 1991. p. 397-405.

CONTE, E. et al. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 925-930, 2002.

CORAZZA, E. J. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 425-432, 1999.

CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Brasileira Agropecuária**, Brasília, v. 37, p. 203-209, 2002.

COSER, T. R. et al. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de Cerrado com aplicação de fertilizante nitrogenado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 399-406, 2007.

COSTA, E. A. et al. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 1185-1191, 2006.

D'ANDRÉA, A. F. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 913-923, 2002.

D'ANDRÉA, A. F. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 179-186, 2004.

DALAL, R. C. Soil microbial biomass - What do the numbers really mean? **Australian Journal Experimental Agriculture**, East Melbourne, v. 38, p. 649-665, 1998.

GALDO, J. et al. Assessing the impact of land use change on soil C sequestration in agricultural soils by means of organic matter fractionation and stable C isotopes. **Global Change Biology**, Oxford, v. 9, p. 1204-1213, 2003.

- DENEFF, K. et al. Carbon sequestration at the microaggregate level within no-tillage soils with different clay mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, p. 1935-1944, 2004.
- DENEFF, K. et al. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for management-induced changes in soil organic carbon in two Oxisols. **Soil Biology and Biogeochemistry**. Oxford, v. 39, p. 1165-1172, 2007
- DESJARDINS, T. et al. Organic carbon and ^{13}C contents in soils and soil sizefractions, and their changes due to deforestation and pasture installation in eastern Amazonia. **Geoderma**, Amsterdam, v. 61, p. 103-118, 1994.
- DÖBEREINER, J. Fixação de nitrogênio em associação com gramíneas. In.: CARDOSO, E. J. B. N., TSAI, S. M., NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992. p. 173-180.
- DUIKER, S. W. et al. Iron (hydr)oxide crystallinity effects on soil aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, p. 606-611, 2003.
- EDEN, M. J. et al. Effect of forest clearance and burning on soil properties in northern Roraima, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 38, p. 283–290, 1991.
- EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **Botanical Review**, Lancaster, v. 38, p. 201-341, 1972.
- EITEN, G. Delimitação do conceito de Cerrado. **Arquivos do Jardim Botânico**, Rio de Janeiro, v. 21, p. 125-134, 1977.
- EITEN, G. **Classificação da vegetação do Brasil**. Brasília: CNPq, 1983. 305 p.
- ELLERT, B. H. et al., Assessment of a method to measure temporal change in soil carbon storage, **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, p. 1687–1695, 2002.
- ELTZ, F. L. F. et al. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno Álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 259-267, 1989.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- EMBRAPA CERRADOS: Conhecimento, tecnologia e compromisso ambiental. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 43 p.
- ESPINDOLA J. A. A. et al. Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com *Paspalum notatum* em um agroecossistema. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, p. 104-113, 2001.
- FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 69-116, 1997.

FIGUEIREDO, C. C. et al. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um latossolo vermelho no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 551-562, 2007.

FISCHER, C. R. et al. Mycorrhiza inoculum potentials in tropical secondary succession. **Biotropica**, Washington, v. 26, p. 369-377, 1994.

FREGONEZI, G. A. F. et al. Transformações morfológicas e físicas de um latossolo argiloso sob pastagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 1017-1027, 2001.

FREITAS, P. L. et al. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 157-170, 2000.

FUJISAKA, S. et al. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: Estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 69, p. 17-26, 1998.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica**: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 227-244.

GARCIA, E. A. C. Desenvolvimento econômico sustentável do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 759-774, 1995.

GARCIA, M. R. L.; NAHAS, E. Biomassa e atividades microbianas em solo sob pastagem com diferentes lotações de ovinos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 269-276, 2007.

HÖGBERG, P. ^{15}N natural abundance in soil-plant systems. **New Phytologist**, Lancaster, v. 137, p. 179-203, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário**. 2006 (resultados preliminares). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Acesso em: 4 mar. 2008.

JANTALIA, C. P. et al. Mudanças no estoque de C do solo em áreas de produção de grãos: avaliação do impacto do manejo do solo. In: ALVES, B. J. R. et al. (Ed.). **Manejo de sistemas agrícolas**: Impactos no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. Porto Alegre: Gênese, 2006. p. 35-57.

JASTROW, J. D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 28, p. 665-676, 1996.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil: A method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 8, p. 209-213, 1976.

JIAO, Y. et al. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 134, p. 24-33, 2006.

JOERGENSEN, R. G.; BROOKES, P. C. Ninhydrin reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0.5 M K₂SO₄ soil extracts. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 22, p. 1023-1027, 1990.

KARAMANOS, E. E. et al. Variation in natural ¹⁵N abundance of central Saskatchewan soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, p. 826-828, 1981.

KER, J. C. Impacto da conversão de floresta em pastagem nos estoques e na composição isotópica do carbono e de frações da matéria orgânica do solo na Amazônia Ocidental, Acre. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007. 1 CD-ROM.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antonio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 570 p.

LAL, R. Soil carbon dynamic in cropland and rangeland. **Environmental Pollution**, Massachusetts, v. 116, p. 353-362, 2002.

LAL, R.; KIMBLE, J. M. Conservation tillage for carbon sequestration. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 49, p. 243-253, 1997.

LEITE, D. et al. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I - Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1033-1044, 2004.

LIGO, M. A. V. **Efeito do manejo da palhada da cana-de-açúcar sobre a dinâmica da matéria orgânica e sua relação com os agregados do solo**. 2003. 76 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de Sao Paulo, Piracicaba, 2003.

LILIENFEIN, J. et al. Soil fertility under native Cerrado and pasture in the Brazilian savanna. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, p. 1195-1205, 2003.

MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema Cerrados: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ, 42., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBZ, 2005. p. 56-84.

MADARI, B. et al. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 80, p. 185-200, 2005.

MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Editora Ceres, 1987. 495 p.

MARCHÃO, R. L. **Integracao lavoura-pecuária num Latossolo do Cerrado: impacto na física, matéria orgânica e macrofauna**. 2007. 153 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

MARTINELLI, L. A. et al. Carbon-13 variation with depth in soils of Brazil and climate change during the Quaternary. **Oecologia**, New York, v. 106, p. 376-381, 1996.

MATSUOKA, M. et al. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.425-434, 2003.

MCGILL, W. B.; DORMAAR, J. F.; REINL-DWYER, E. New perspectives on soil organic matter quality, quantity, and dynamics on the Canadian Prairies. In: ANNUAL CANADIAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE MEETING, 34., 1988, Calgary. **Proceedings...** Manitoba: Canadian Society of Soil Science, 1988. p. 30-48.

METAY, A. et al. Storage and forms of organic carbon in a no-tillage under cover crops system on clayey Oxisol in dryland rice production (Cerrados, Brazil). **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 122–132, 2007.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de Sistemas Agrícolas. In. SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 1-9.

MIRANDA, E. J. **Efeito temporal da cultura da soja nos atributos físico-químicos do solo no Estado do Mato Grosso**. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MIRANDA A.C. et al. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 20, p. 315-328, 1997.

MOORE, J. M. et al. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 31, p. 200-210, 2000.

MORAES, S. O. **Heterogeneidade hidráulica de uma terra roxa estruturada**. 1991. 141 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. 625 p.

MUGGLER, C. C. et al. Laser grain-size determination in soil genetic studies. 2. Clay content, clay formation, and aggregation in some Brazilian oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 162, p. 219-228, 1997.

NADELHOFFER, K. J.; FRY, B. Controls on natural nitrogen-15 and carbon-13 abundances in forest soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 1633–1640, 1998.

NEILL, C. et al. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, Washington, v.7, p.1216-1225, 1997.

NEUFELDT, H. et al. Distribution of water-stable aggregates and aggregating in Cerrado Oxisols. **Geoderma**, Amsterdam, v. 93, p. 85–99, 1999.

NORONHA, N. C. **Recuperação de pastagem degradada em Rondônia: atributos físicos, químicos, biológicos do solo e produtividade da *Brachiaria brizantha***. 2005. 129 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

OLIVEIRA, J. R. A. **O impacto de sistemas integrados de lavouras e pastagens na biomassa-C e na atividade biológica de um Latossolo Vermelho-Escuro de Cerrado**. 2000. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

OLIVEIRA, P. P. A.; OLIVEIRA, W. S. O.; CORSI, M. **Estudo sobre recuperação de pastagens através de fertilização e mecanização**. Piracicaba: FEALQ, 2000. 36 p. (Relatório Técnico).

OLIVEIRA, O. C. et al. Chemical and biological indicators of decline/degradation of *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 103, p. 289-300, 2004.

OWEREMADU, E. U. Et al. Carbon and nitrogen distribution in water-stable aggregates under two tillage techniques in Fluvisols of Owerri area, southeastern Nigeria. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 97, p. 195-206, 2007.

PASSOS, R. R. et al. Carbono orgânico e Nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1109-1118, 2007.

PAUSTIAN, K. et al. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, Dordrech, v. 48, p. 147-163, 2000.

PEREIRA, M. G. **Formas de Fe, Al e Mn como índices de pedogênese e adsorção de fósforo em solos do Estado do Rio de Janeiro**. 1996. 211 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1996.

PEREZ, K. S. et al. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 137-144, 2005.

PERRIN A. S. **Effets de différents modes de gestion des terres agricoles sur la matière organique et la biomasse microbienne en zone tropicale humide au Brésil**. 2003. 68 f. Dissertation (Master) - École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 2003.

PESSENDA, L. C. R. et al. The use of carbon isotopes (¹³C, ¹⁴C) in soil to evaluate vegetation changes during the holocene in central Brazil. **Radiocarbon**, New Haven, v. 38, p. 191-201, 1996.

PICCOLO, M. C. et al. ¹⁵N natural abundance in forest and pasture soil of the Brazilian Amazon basin. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 182, p. 249-258, 1996.

PINHEIRO, E. F. M. et al. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 731-737, 2004a.

PINHEIRO, E. F. M. et al. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a red latosol from Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, p. 79-84, 2004b.

PLANTE, A. F.; MCGILL, W. B. Soil aggregate dynamics and the retention of organic matter Red Latosol from Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, p. 79-84, 2002.

REICHART, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004.

REID, J. B.; GOSS, M. J. Changes in the aggregate stability of a sandy loam effected by growing roots of perennial ryegrass (*Lolium perene*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.31, p.325-328, 1980.

RESCK, D. V. S. et al. Impact of conversion of Brazilian Cerrados to cropland and pastureland on soil carbon pool and dynamics. In: LAL, J. M. R.; KIMBLE, J. M.; STEWART, B. A. (Ed.). **Global climatic change and tropical ecosystems**. New York: Lewis Publishers, 2000. p. 169-196.

RIBEIRO, J. F. et al. Aspectos fenológicos de espécies nativas do cerrado. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 32., 1981, Terezina. **Anais**. Teresina: Sociedade Botânica do Brasil, 1981. p. 181-187.

RODELLA, A. A.; SABOYA, L. V. Calibration for conductimetric determination of carbon dioxide. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, p. 2059-2060, 1999.

RODRIGUES, W. **Tecnologias agrícolas sustentáveis no Cerrado**. Brasília: Ministério da Integração Nacional; Universidade Estadual de Goiás, 2002. (Coleção Centro-Oeste de Estudos e Pesquisas, 13).

ROSCOE, R. Dinâmica da matéria orgânica em solos de Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 2005. 1 CD-ROM.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 70, p. 107-119, 2003.

ROSCOE, R. et al. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions revealed by the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopic ratio in a Cerrado's Oxisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 104, n. 3-4, p. 185-202, 2001.

ROSCOE, R. et al., Effects of fire on soil organic matter in a cerrado sensu-stricto from Southeast Brazil as revealed by changes in $\delta^{13}\text{C}$. **Geoderma**, Amsterdam, v. 95, p. 141-160, 2000.

ROSSATO, R. R. et al. Dinâmica da matéria orgânica no sistema plantio direto relacionado com o uso anterior do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS - FERTBIO, 24., 2000, Santa Maria. **Biodinâmica do solo**. Santa Maria: SBCS, 2000. p. 590.

ROTH, C. H.; PAVAN, M. A. Effects of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. **Geoderma**, Amsterdam, v. 48, p. 351-361, 1991.

SÁ, J. C. M. et al. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, p. 1486-1499, 2001.

SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2005. 157 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SAMINÊZ, T. C. **Efeito do sistema de cultivo, tensão da água, biomassa microbiana e temperatura do solo nos fluxos de CH₄ e N₂O em solos de cerrados**. 1999. 99 f. Dissertação (Mestrado em ciências Agrárias) - Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

SEEBER, J. et al. Effects of macro-decomposers on litter decomposition and soil properties in alpine pastureland: A mesocosm experiment. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 34, p. 168-175, 2006.

SILVA, F. de A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. de. A new version of the assistant-statistical assistance software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4., 2006, Orlando. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 2006. p.393-396.

SILVA, J. et al. Carbon storage in clayey oxisol cultivated pastures in Cerrado region, Brazil. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, Amsterdam, v. 103, p. 357-363, 2004.

SILVA, C. A. **Mineralização de nitrogênio e enxofre e caracterização de substâncias húmicas em solos brasileiros por 13C-RMN e cromatografia por exclusão de tamanho**. 1997. 82 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

SIQUEIRA NETO, M. **Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no Cerrado em Rio Verde (GO)**. 2006. 159 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SIX, J. et al. Aggregate and organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, p. 1350-1358, 1999.

SIX, J. et al. Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 681-689, 2000.

SIX, J. et al. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, p. 1981-1987, 2002.

SKJEMSTAD, J.; DALAL, R.bC. Spectroscopic and chemical differences in organic matter of two Vertissols subjected to long periods of cultivation. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 25, p. 323-335, 1987.

SOHI, S. et al. Procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, p. 1121-1128, 2001.

SOUZA, E. D. et al. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 1135-1139, 2005.

SOUZA, E. D. et al. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 28, p. 323-329, 2006.

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C:Calibration in situ using microbial respiration and ^{14}C labelled cells. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 20, p. 337-343, 1998.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 30, p. 195-207, 1992.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: Genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York: Wiley, 1994. 496 p.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, p. 141-163, 1982.

TORMENA, C. A. et al. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 573-581, 1998.

TRUMBORE, S. E. et al. Belowground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 9, p. 515-528, 1995.

VANCE, E. D. et al. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, p. 703-707, 1987.

VARGAS, L. K.; SELBACH, P. A.; SÁ, E. L. S. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 76-83, 2005.

VASCONCELLOS, C. A. et al. Resposta da soja e da biomassa de carbono do solo aos resíduos de cinco genótipos de sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 67-77, 1999.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in tropical soils under pastures after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 175-180, 1994.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soils. **Biological Reviews**, Cambridge, v. 67, p. 321-358, 1992.

WESTERHOF, R. et al. Aggregation studied by laser diffraction in relation to plowing and liming in the Cerrado region in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 90, p. 277-290, 1999.

XAVIER, F. A. S. et al. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícola orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba - CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 247-258, 2006.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, Madison, v. 28, p. 337-351, 1936.

ZOTARELLI, L. et al. Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregate soil organic matter in two Oxisols. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, p. 196-206, 2007.