

Atributos físicos e microbiológicos de um latossolo vermelho-amarelo distrófico típico sob cerrado nativo e monocultivo de soja

Physical and microbiological attributes of a ferralsol under native cerrado and soybean monoculture

RAMOS, Fabricio Tomaz¹; NUNES, Maria Cândida Moitinho²; CAMPOS, Daniela Tiago da Silva³; RAMOS, Denis Tomás⁴; MAIA, João Carlos de Souza⁵

1 Universidade Federal do Estado de Mato Grosso, Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical, Cuiabá/MT - Brasil, fabricio.tomaz@hotmail.com; 2 Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus Jane Vanini, Cáceres/MT - Brasil, nunes.candida@gmail.com; 3 Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá/MT - Brasil, camposdts@yahoo.com.br; 4 Universidade Federal do Estado de Mato Grosso, Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical, Cuiabá/MT - Brasil, denisagropec@hotmail.com; 5 Departamento de Solo e Engenharia Rural, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá/MT - Brasil, jotace@terra.com.br

RESUMO : O uso conservacionista do solo tem-se instituído tema de crescentes discussões devido à remoção de biomas e seu posterior uso agrícola. Hipoteticamente, acredita-se que a avaliação da qualidade agrônômica de um solo qualquer, por meio de indicadores conjugados, em vez de interpretações isoladas, é mais adequada para caracterização do efeito antrópico em sistemas agrícolas. Em função disso, objetivou-se diagnosticar alterações em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico sob monocultivo de soja e cerrado nativo com base em indicadores físicos e microbiológicos, amostrados de modo inteiramente casualizados na profundidade de 0 a 10 cm. Foi possível identificar degradações físico-microbiológicas significativas no ambiente antropizado, com reduções médias nos indicadores de 47,87%; 15,76%; 24,74%; 39,90% e 15,36% para umidade gravimétrica, porosidade total, carbono microbiano, respiração basal e quociente microbiano; e aumentos para a densidade do solo, resistência mecânica do solo à penetração, microporosidade, quociente metabólico de 19,47%; 128,71%; 56,55% e 163,44%, respectivamente. Conjugando esses resultados isolados por meio do método do Qualigrama obteve-se um índice quantitativo da qualidade edáfica no monocultivo de soja igual a 0,26, que qualitativamente corresponde ao estado de "nível crítico" em comparação ao ambiente nativo.

PALAVRAS-CHAVE: Indicadores de qualidade do solo. Qualigrama. Manejo e conservação do solo. Física e microbiologia do solo. Cáceres - MT.

ABSTRACT: The use of soil conservation has been established on the subject of increasing discussion because of the removal of biomes and their subsequent use in agriculture. Hypothetically, it is believed that the agronomic quality assessment of soil either through indicators combined rather than separate interpretations, it is more appropriate to characterize the anthropogenic effect on agricultural systems. As a result, the objective was to diagnose abnormalities in a Ferralsol under soybean monoculture and native vegetation based on the physical and microbiological sampling in a completely randomized in the 0 to 10 cm. It was possible to identify physical and microbiological degradation anthropized environment with significant mean reductions in indicators of 47.87%, 15.76%, 24.74%, 39.90% and 15.36% for gravimetric moisture, porosity, microbial carbon, basal respiration and microbial quotient, and increases in soil density, soil resistance to penetration and microporosity, metabolic quotient of 19.47%, 128.71%, 163.44% and 56.55% respectively. Combining these results isolated by the method of Qualigrama obtained a quantitative index of the quality of both soils in the soybean monoculture equal to 0.26, that qualitatively matches the state of "critical level" compared to the native environment.

KEY WORDS: Soil quality indicators. Qualigrama. Management and soil conservation. Physics and soil microbiology. Caceres - MT.

Introdução

O uso dos recursos naturais, especialmente do solo, tem-se instituído tema de crescente relevância, em razão da interferência antrópica. Dentre as ações prejudiciais ao meio ambiente, a degradação do solo constitui-se em um dos mais preocupantes, uma vez que pode afetar direta e indiretamente a saúde humana, resultado de manejos inadequados, tendo como consequência alterações nas características físicas, químicas e biológicas do solo (DORAN & PARKIN 1994; ARAÚJO et al., 2007; SALTON et al., 2008; FIGUEIREDO et al., 2009).

A região Centro Oeste tornou-se a maior produtora de soja do Brasil, em especial o Estado de Mato Grosso, principal produtor, respondendo por 28% (19 milhões de toneladas) da safra 2008/2009 e 7% da produção mundial. No entanto, a crescente expansão da atividade agropecuária nessa região tem levado a questionamentos quanto à qualidade dos sistemas de manejo do solo em uso (SALTON et al., 2008). Logo, se o solo representa um componente básico à atividade agropecuária, a conservação de sua qualidade agrônômica é essencial para a manutenção da produção em longo prazo.

Avaliar essa qualidade permite prever danos ao ambiente, subsidiar discussões sobre a continuidade de um manejo, descobrindo pontos fortes e fracos, que podem fortalecer as pesquisas sobre a importância da biodiversidade em sistemas de produção, além de contribuir para a readequação de práticas culturais que visem a homeostase do sistema de produção (DORAN & PARKIN, 1994; ARAÚJO et al., 2007; DIAS et al., 2010; MELO et al., 2010; RAMOS et al., 2011). Além disso, numa agricultura cada vez mais intensiva e dependente de capitais e insumos diversos, o espaço para a biodiversidade está se restringindo, devendo-se buscar cada vez mais o apoio do conhecimento científico, sobretudo em nível de solo.

Diante disso e levando em consideração que o

solo é um ambiente dinâmico, heterogêneo e complexo, sugere-se a seleção de indicadores de qualidade do solo de natureza física, química ou biológica, que representem suas principais funções como, promover o crescimento de raízes e a atividade biológica; favorecer a infiltração e percolação da água; permitir as trocas gasosas. Ainda, como critério de comparações de ambientes, que suportam uma vegetação nativa e ou que tenham sofrido mínimos distúrbios antropogênicos (DORAN & PARKIN, 1994; DORAN & PARKIN, 1996).

Os grupos de indicadores, que podem ser sensíveis a variações no uso e manejo do solo são, a saber: (i) efêmeros, os que oscilam em curto espaço de tempo como, temperatura, umidade, pH, teor de nutrientes, atividade de microrganismos; (b) intermediários, aqueles alteráveis após manejo do solo por alguns anos como, densidade do solo, resistência a penetração, permeabilidade, estabilidade de agregados, teor de matéria orgânica, biomassa microbiana; e (c) permanentes, atributos inerentes ao tipo de solo e que servem para classificar os solos como, textura, mineralogia, profundidade, cor, densidade de partículas (DORAN & PARKIN, 1996). Todavia, os intermediários são os mais utilizados, por não estarem sujeitos a variações bruscas dos resultados e serem obtidos e fornecerem respostas rápidas quanto à operacionalidade das amostras com admissível precisão.

Do pressuposto, objetivou-se avaliar, comparativamente, o efeito do monocultivo de soja, em semeadura direta, com base em indicadores intermediários físicos e microbiológicos em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, baseando-se numa área de Cerrado nativo como referencia em termos da qualidade edáfica.

Material e métodos

Local do experimento

Na região sudoeste do Estado de Mato Grosso-MT, município de Cáceres, latitude 16°03'40,7" S, longitude 58°19'21,6" W e altitude de 184 metros. De acordo com NEVES (2006), a região apresenta clima Tropical de altitude, terceiro megatérmico, com temperatura média do mês mais frio superior a 18,0 °C. Apresenta inverno seco e chuvas no verão, com temperatura máxima anual de 31,5 °C, mínima de 20,1 °C, podendo ocorrer temperaturas de 41 °C. A pluviosidade anual é de aproximadamente 1.317,41 mm, concentrando 76% nos meses de novembro a abril.

O solo do local foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (EMBRAPA, 2006). Sua caracterização química e textural encontram-se na Tabela 1 (EMBRAPA, 1997).

As amostragens foram realizadas em março de 2009 em duas áreas (tratamentos) adjacentes com

relevo plano, a saber: (i) solo sob Cerrado nativo (CN), área controle sem histórico de perturbação antrópica e tomada como referência para comparação dos resultados físicos e microbiológicos; (ii) solo sob monocultivo de soja (MS) manejada em semeadura direta por sete anos com 700 hectares em uso para plantio. A abertura da área foi seguida de preparo inicial do solo com aração e gradagem com o plantio de arroz de sequeiro na safra (2002/03), utilizando a fertilidade original para suprir a cultura. Em seguida, a área foi cultivada com soja convencional, intercalando nas safras de 2003/04, 2004/05, 2005/06, 2006/07 soja safrinha, e 2007/08 e 2008/09 soja e milho, safrinhas. O milho era semeado a lanço imediatamente após a colheita e os grãos colhidos foram utilizados na formulação de ração bovina. Não houve mobilização do solo após a safra 2002/03, exceto na linha de semeadura pelos discos de corte e hastes da semeadora no espaçamento de

Tabela 1. Caracterização química e textural de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico sob cerrado nativo e monocultivo de soja, na profundidade de 0 a 10 cm, Cáceres-MT.

Variáveis Químicas	Tratamentos	
	Cerrado Nativo	Monocultivo de Soja
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	10,47	9,30
pH (H ₂ O)	5,40	5,70
P (mg dm ⁻³)	1,00	57,80
K (mg dm ⁻³)	0,07	0,13
Ca (cmol _c dm ⁻³)	1,70	1,90
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,00	0,60
(H + Al) (cmol _c dm ⁻³)	3,90	3,10
Soma de bases (cmol _c dm ⁻³)	2,77	2,63
CIC (1) (cmol _c dm ⁻³)	6,67	5,73
Saturação por bases (%)	41,53	45,00
Areia (g kg ⁻¹)	740	760
Silte (g kg ⁻¹)	80	100
Argila (g kg ⁻¹)	180	140

Obs.: P e K extraídos com HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ e, Ca, Mg e Al extraídos KCl 0,1 mol L⁻¹ (SILVA, 2009); análise textural método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

0,45 m. As amostragens de solo nessa área foram realizadas após a colheita do milho e no mesmo dia.

Delineamento experimental

As amostragens foram realizadas ao acaso segundo um delineamento inteiramente casualizado, tendo como base uma área de 2500 m², dividida em parcelas de 10 x 10 m, equivalente para os dois tratamentos, conforme Carneiro et al. (2009), separadas por uma bordadura de 4 m. Amostras simples foram coletadas dentro das seis parcelas (repetições) escolhidas ao acaso para cada tratamento para compor uma média geral para cada parcela.

Os indicadores físicos determinados para cada tratamento foram: densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), utilizando amostras indeformadas coletadas com anéis volumétricos em número de três por parcela, totalizando 18 amostras; umidade gravimétrica (Ug), por meio de amostras deformadas com três amostras simples, totalizando 18 amostras; e a porcentagem de agregados por via úmida (Pa), à partir de cinco amostras simples, totalizando 30 amostras, todos na profundidade de 0 a 10 cm (EMBRAPA, 1997). Para avaliar a resistência mecânica do solo à penetração vertical (Rp) foi utilizado um penetrômetro de Impacto Modelo IAA/Planalsucar - Stolf, até a profundidade de 0,60 m, em intervalos de 0,10 m, com seis amostragens por parcela, no total de 36 medições, conforme Stolf et al. (1991). As médias desses valores foram multiplicadas pela constante 0,098 para obtenção da Rp em MPa.

Os indicadores microbiológicos avaliados foram: carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) pelo método da fumigação-incubação; respiração basal (C-CO₂) (JENKINSON & POWLSON, 1976); quociente metabólico (qCO₂), a partir da relação (C-CO₂/C-BM) e o quociente microbiano (qMIC) pela relação (C-BM/C-orgânico

total do solo) (ANDERSON & DOMSCH, 1993), todos a partir de três grupos de 20 amostras simples por parcela, as quais depois de homogeneizadas constituía, então, três amostras compostas, no total, então, de 18 por tratamento. Além disso, em laboratório realizou-se a análise em triplicata de cada composta para compor uma média.

Análise estatística

Os dados apresentaram normalidade pelo teste de Lilliefors e, assim, foram submetidos à correlação simples (r) pelo Teste t; análise de variância e teste de médias por Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa ASSISTAT Versão 7.5 beta (2008). Com base nos dados obtidos, foi construído um Qualigrama (gráfico tipo radar do Microsoft Office Excel 2007) para conjugar os indicadores significativamente alterados a fim de gerar o índice de qualidade do solo (IQS) e avaliar a relação entre os indicadores nos dois ambientes (RAMOS et al., 2010). Essa relação foi obtida por meio da subtração da área limítrofe (solo sob Cerrado nativo) pela circunscrita (solo sob monocultivo de soja) no Qualigrama. Logo, se o solo apresentar, após essa subtração, resultado mais próximo a 1 ou 100%, indicará que o mesmo apresenta melhor qualidade. Além disso, foi atribuída uma nota de sustentabilidade do manejo com base em níveis qualitativos, considerando os padrões: (i) ótimo [0,8 ≤ x < 1]; (ii) estável [0,6 ≤ x < 0,8]; (iii) instável [0,4 ≤ x < 0,6]; (iv) crítico [0,2 ≤ x < 0,4]; e (v) grave [x < 0,2] (SEPÚLVEDA, 2008).

Resultados e discussão

Todos os indicadores físicos intermediários foram sensíveis em detectar modificações significativas no solo sob monocultivo de soja (MS) após sete anos de incorporação ao uso agrícola em relação ao cerrado nativo. Isso significa que o manejo em ação nesse solo já ultrapassou, em

termos de degradação, os indicadores efêmeros, uma vez que alteraram os do presente estudo, os quais se tornaram susceptíveis a degradação após alguns anos de manejo.

Diante disso, o uso intenso do solo e a trafegabilidade de maquinários da semeadura a colheita durante esse tempo foram suficientes em promover alterações nos indicadores avaliados, verificando reduções médias em percentagens para porosidade total (Pt) e umidade gravimétrica (Ug) de 15,76 %, 47,87 %; e aumentos para densidade do solo (Ds), resistência a penetração (Rp), microporosidade (Mi) de 19,47 %, 128,71 %, 56,55 %, respectivamente (Tabela 2).

De modo semelhante, Figueiredo et al. (2009), comparando um LATOSSOLO VERMELHO distroférrico textura argilosa sob semeadura direta com monocultivo de soja/milheto e cerrado nativo por dois anos, na profundidade de 0-10 cm, constataram, também, no ambiente nativo, valores de Pt e Ma superiores ao antropizado, o que incorreu no aumento da Ds.

Semelhante ao resultado do autor supracitado, as alterações referente aos dados contidos na Tabela 2, atribui-se possivelmente, ao uso intensivo da área sob semeadura direta a cada

safrá, ou seja, três plantios por safrá; duas dessecações pré-plantio tratorizadas; três aplicações de defensivos tratorizadas; movimentação de caminhões graneleiros durante a colheita dentro da lavoura, causando a desagregação e compressão do solo, tendendo a maior compactação do solo. Assim, esta compactação pode restringir o crescimento radicular, uma vez que, sob condição textural semelhante, Rosolem et al. (1994) encontraram restrição ao crescimento radicular a partir da densidade aparente de 1,25 g cm⁻³ e impedimento total a 1,72 g cm⁻³.

Do pressuposto, a trafegabilidade acumulativa ao longo desses anos, contribui para desencadear a compactação do solo pela diminuição do seu volume induzida pela compressão (peso dos maquinários, implementos agrícolas e carregadores), ocasionando a redução da porosidade de aeração e, como consequência, um aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade total. Assim, a redução da macroporosidade Ma e acréscimo da Mi, possivelmente, estejam relacionados com essa compressão no solo pelos rodados. Essa desagregação estrutural foi confirmada com a

Tabela 2. Indicadores físicos de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distroférrico típico sob cerrado nativo e monocultivo de soja, na profundidade de 0 a 10 cm, Cáceres-MT, 2009.

Variáveis	Tratamentos		DMS ²	CV (%) ³
	Cerrado nativo	Monocultivo de Soja		
Densidade do solo (mg. dm ⁻³)	1,253 b	1,497 a ¹	0,099	5,649
Porosidade total (m ³ . m ⁻³)	48,257 a	40,602 b	4,105	7,185
Macroporosidade (m ³ . m ⁻³)	33,665 a	17,827 b	4,187	12,648
Microporosidade (m ³ . m ⁻³)	14,591 b	22,775 a	3,526	14,677
Umidade gravimétrica (m ³ . m ⁻³)	25,966 a	13,520 b	1,311	5,166

¹ Médias seguidas da mesma letra na linha não se diferenciam pelo teste de Tukey (P < 0,05); ² DMS= Diferença mínima significativa; ³ CV (%)= Coeficiente de variação.

análise de estabilidade de agregados, sendo encontrada uma redução de 49,70% dos agregados maiores retidos na malha de dimensões entre 4 a 2 mm na área sob MS. Além disso, ocorreu um aumento de solo retido nas malhas com menor diâmetro, que reflete menor estruturação (STONE & GUIMARÃES, 2005) (Tabela 3).

É importante destacar que o período de entressafra permanecia sem cobertura vegetal em função do uso de herbicidas para controle de plantas espontâneas e, assim, além da exposição dos agregados ao uso intensivo da área, favorecendo o cisalhamento pelos maquinários e implementos agrícolas, também, existiu a colaboração para perda de agregação em função das intempéries como, rápido umedecimento e secagem, impactos diretos de gotas de chuva no solo desprotegido sob monocultivo de soja.

Deste modo, os agregados fragmentados tendem a se translocarem para as camadas inferiores do solo obstruindo-as e, ou, carregados via erosão laminar, confirmando Figueiredo et al. (2009) e, isso, constitui-se, de acordo com Wakindiki & Ben-Hur (2002), em uma das

principais causas de degradação acelerada de terras agricultáveis; e da capacidade produtiva do solo (GAERTNER et al., 2003).

Essa desestabilização, possivelmente, também esteja ligada a ausência de rotação anual balanceada (leguminosa-gramíneas), o que ampliaria o aporte de material orgânico, refletindo em menores valores de Ds e maiores de Ma e agregados maiores (STONE & GUIMARÃES, 2005). Essa rotação é importante, porque combina numa mesma área, culturas com diferentes taxas de decomposição, contribuindo para que o solo fique sob influência da cobertura vegetal morta por um tempo mais prolongado, já que na área da avaliação não é feito revolvimento do solo.

No entanto, antes da implantação de um sistema de plantio direto toda a área de cultivo já deve estar, por exemplo, corrigida quimicamente; com curvas de níveis demarcadas, ou seja, com as condições físico-químicas do solo homogêneas para evitar revolvimento futuro em função de falhas no estabelecimento. A rotação de cultura no plantio direto é requisito, no entanto, em situações críticas de compactação talvez medidas biológicas não resolvam. Dessa

Tabela 3. Percentagem de agregados por via úmida de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico sob cerrado nativo e monocultivo de soja, na profundidade de 0 a 10 cm, Cáceres-MT, 2009.

Classe de agregados (mm)	Tratamentos		DMS ²	CV (%) ³
	Monocultivo de Soja	Cerrado nativo		
4,00 a 2,00	38,002 b	75,552a ¹	6,058	8,297
2,00 a 1,00	13,868 a	4,732 b	4,030	13,695
1,00 a 0,50	25,247 a	7,848 b	2,950	13,865
0,50 a 0,25	15,907 a	6,756 b	1,931	13,257
0,25 a 0,125	4,649 a	3,359 a	1,854	16,002

¹ Médias seguidas da mesma letra na linha l não se diferenciam pelo teste de Tukey (P < 0,05); ² DMS= Diferença mínima significativa; ³ CV (%)= Coeficiente de variação.

forma, pensando na preservação desse cultivo mínimo sob semeadura direta em detrimento da aração e gradagem, tem-se verificado a eficiência de práticas, que incrementam a Pt via redução da Ds como, a escarificação e subsolagem (KLEIN & CAMARA, 2007). Portanto, são meios alternativos para manter a Rp em níveis não impeditivos ao desenvolvimento normal das plantas e evitar o retorno ao molde convencional, menos conservador da matéria orgânica do solo.

Tratando-se da compactação do solo, ela é inevitável, evoluindo do preparo inicial à trafegabilidade posterior acumulativa, sobretudo, quanto ao uso intensivo da área agrícola. Logo, tentar relacionar desenvolvimento de plantas e avaliações isoladas de indicadores do solo não é representativo e insignificante para uso prático. A partir disso, fazendo o uso de mais um indicador, o penetrômetro de impacto ajudou na identificação de camadas compactadas, por constatar

alterações significativas até 0,6 m no perfil, corroborando com o resultado do aumento superficial da densidade do solo em razão do histórico de manejo (Figura 1).

Da mesma forma que os indicadores físicos foram significativamente alterados, os microbiológicos também (Tabela 4). São resultados importantes, já que a microbiota do solo tem sido descrita como um sensível indicador, por desempenhar funções chaves na decomposição de materiais orgânicos e responder mais rapidamente às alterações ambientais frente à matéria orgânica do solo estabilizada (meio abiótico) (DORAN & PARKIN, 1994; MATSUOKA et al., 2003).

O carbono da biomassa microbiana (C-BMS), fração lábil e biologicamente mais ativa da matéria orgânica do solo, foi sensível ao diagnosticar alterações no solo, identificando diferenças significativas entre os dois tratamentos estudados,

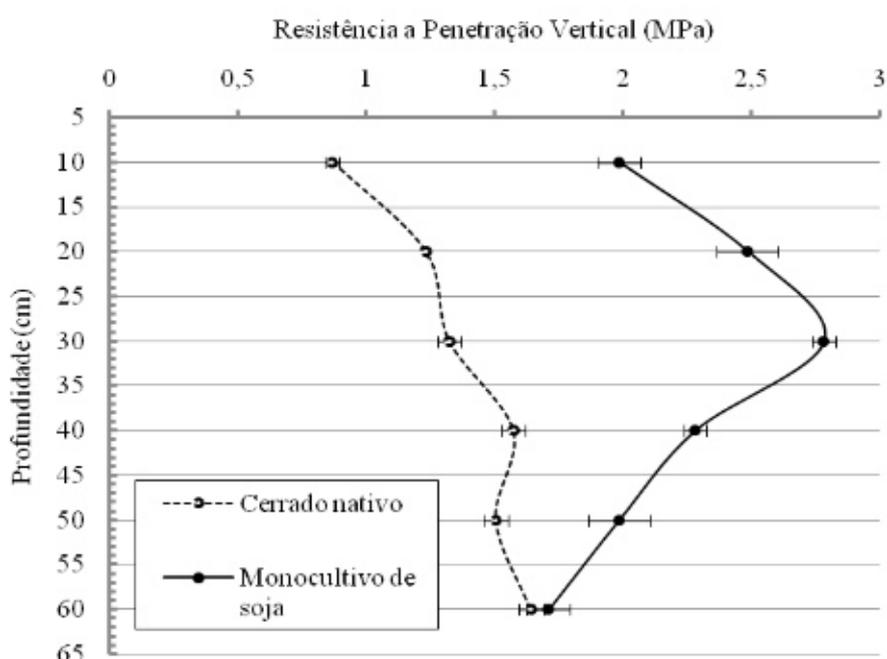


Figura 1. Resistência mecânica do solo à penetração vertical. As barras indicam os valores de erro padrão da média e a sobreposição destas denota a ausência de diferenças entre as médias dos tratamentos, Cáceres-MT, 2009.

sendo observada uma redução de 24,74% na área com soja (Tabela 4).

A redução nos níveis de C-BMS permite, então, concluir que o manejo não está privilegiando a conservação da matéria orgânica do solo. Isto é um dos precursores da desestabilidade dos agregados, os quais são afetados pela perda da matéria orgânica, de modo que a porosidade, a infiltração e a retenção de água no solo são indiretamente influenciadas (TISDALL & OADES, 1982; BAYER & MIELNICZUK, 1999).

O C-BMS representa de 1% a 4% do carbono total do solo, sendo expresso pelo qMIC (BROOKES, 2001); e, geralmente, valores inferiores a 1%, conforme Jakelaitis et al. (2008), podem ser atribuídos a algum fator limitante à atividade dos microrganismos (Tabela 4). No entanto, para condições tropicais, valores menores que 1%, talvez não necessariamente indique comprometimento das funções microbianas do solo, pois PEREZ et al. (2004), obtiveram diferentes valores em função de épocas de amostragens diferentes num LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (LVA) argiloso. Todavia, a adição de matéria orgânica de qualidade ou a

mudança de um fator limitante para uma condição favorável pode aumentar o valor de quociente microbiano qMIC (WARDLE, 1994).

Dessa conjectura, exige-se cautela na interpretação de resultados microbiológicos, pois uma alta atividade microbiana (C-CO₂) não é necessariamente indicativa de melhor qualidade, por acelerar a decomposição dos resíduos orgânicos e, portanto, diminuir o tempo de residência da matéria orgânica no solo (ARÁUJO et al., 2007). Todavia, o C-CO₂ prevalente no cerrado nativo (Tabela 4), é atribuído, em função da constatação in loco da serrapilheira densa e a grande quantidade de raízes, que liberam exsudatos e que atuam como fonte de energia, estimulando a maior respiração do solo (C-CO₂), principalmente nas camadas superficiais (TISDALL & OADES, 1982; TISDALL, 1994; MATSUOKA et al., 2003; PEREZ et al., 2004; ARAÚJO et al., 2007).

Quanto ao quociente microbiano (qMIC), mesmo reduzido na área de monocultivo de soja sob semeadura direta (Tabela 4), aconselha-se que tal sistema deva ser mantido com adaptações conservacionista do solo como, rotação de

Tabela 4. Indicadores microbiológicos de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico sob monocultivo de soja e cerrado nativo, na profundidade de 0 a 10 cm, Cáceres-MT, 2009.

Variáveis	Tratamentos		DMS ²	CV (%) ³
	Monocultivo de soja	Cerrado nativo		
Carbono da biomassa microbiana (µg. g ⁻¹)	7,440 b	9,886 a ¹	0,785	7,049
Respiração do solo (µg. g ⁻¹ . d ⁻¹)	1,798 b	2,992 a	0,274	8,909
Quociente metabólico (µg de CO ₂ . µg de biomassa ⁻¹ . d ⁻¹)	0,245 a	0,093 b	0,044	20,371
Quociente microbiano (%)	0,799 b	0,944 a	0,082	7,353

¹ Médias seguidas da mesma letra na linha não se diferenciam pelo teste de Tukey (P < 0,05); ² DMS= Diferença mínima significativa; ³ CV (%)= Coeficiente de variação.

cultivos, plantio de cobertura entressafras, uma vez que a perturbação mínima do solo estimula a acumulação de carbono orgânico nas células microbianas, avaliado pelo qMIC. Esse efeito foi determinado por Perez et al. (2004) em um LVA cultivado com soja sob diferentes manejos, onde concluíram que o acúmulo de carbono na profundidade de 0–5 cm sob semeadura direta foi o que mais se aproximou do Cerrado nativo.

Quanto ao quociente metabólico (qCO_2), que reflete, segundo Ramos et al. (2010), a quantidade de energia necessária para metabolizar um substrato, permitiu caracterizar a biomassa microbiana mais eficiente na conversão de carbono orgânico (C- org) em C-BMS, ou seja, no Cerrado nativo. Logo, como a área sob monocultivo de soja apresentou maior qCO_2 , possivelmente, há circunstâncias de desequilíbrio ambiental como, matéria orgânica de baixa qualidade ou que apresentam comunidades microbianas sob condições de estresse, por exemplo, deficiência de nutrientes, acidez, déficit hídrico (WARDLE, 1994; JAKELAITIS et al., 2008). Nestas condições, a capacidade de utilização do carbono orgânico disponível no solo é diminuída e, neste caso, o qMIC tende a decrescer (Tabela 4).

Entre os fatores responsáveis por condições mais favoráveis ao desenvolvimento microbiano na área sob vegetação nativa merecem destaque a ausência de preparo do solo e a maior diversidade vegetal dessas áreas, que favorecem o acúmulo da serrapilheira em superfície, propiciando a ocorrência de menor variação e de níveis mais adequados de temperatura e umidade; a preservação das hifas fúngicas; e a maior presença de raízes finas (que aumentam a entrada de substratos carbonados no sistema via exsudatos radiculares). Ainda, num solo sob vegetação nativa, o fornecimento de material orgânico diversificado, fonte de energia e nutrientes para os microrganismos, é constante e, conseqüentemente, a estruturação do solo é privilegiada, já que os agregados são conservados,

resguardando, assim, o habitat principal dos microrganismos (TISDALL & OADES, 1982; TISDALL, 1994).

No solo, coexistem diversas interações físicas, químicas e biológicas em maior ou menor nível de sensibilidade vista ao equilíbrio dinâmico do meio. No entanto, em função da maior sensibilidade dos indicadores microbiológicos em determinar alterações no solo, a correlação com indicadores de categorias distintas poderá apontar relações, que no manejo são reciprocamente alterados e, portanto, importante para corrigir interações negativas (DORAN & PARKIN, 1994; LOURENTE et al., 2011). Portanto, os indicadores determinados no solo sob monocultivo de soja, que advertirem correlações diretas ou indiretas entre si poderão ser vise-versa alterados (Tabela 5).

As correlações, positiva $Ma \times Ug$ e negativa $Ds \times Pt$, entre esses indicadores físicos demonstram o efeito da compactação do solo pela aumento da massa de solo por unidade de volume, induzida pela compressão, resultando na queda da proporção de Ma , reduzindo, assim, a Pt (Tabela 5). Resultado este, provavelmente, potencializado pela redução dos valores de agregados estáveis em água, reflexo do decréscimo do C-BMS e qMIC, já que a formação dos agregados é devido, primariamente, às interações com os microrganismos e a quantidade de material orgânico aportado ao solo (TISDALL & OADES, 1982).

Nas interações negativas entre os indicadores microbiológicos torna-se evidente a importância do aumento e/ou diversificação dos resíduos vegetais para diminuir o estresse metabólico (qCO_2) na oxidação dos materiais orgânicos atuais, e aumentar o (C-BMS) e o (qMIC). Essa afirmação justifica-se com base nos resultados interpretados do Cerrado nativo (Tabela 4). Da mesma forma, a relação direta destes com a Mi faz valer, pois a fragmentação dos agregados do solo expõe a matéria orgânica do solo fisicamente protegida ao

ataque dos microrganismos do solo, reduzindo os teores de (C-org) no solo, tendendo, assim aumentar esporadicamente o (C-BMS) (TISDALL & OADES, 1982).

Portanto, a agregação do solo pode ser influenciada pela alteração na dinâmica dos microrganismos do solo e, neste trabalho, foi possível observar por meio do C-BMS, qMIC e C-CO₂, que foram maiores no Cerrado nativo. Ao contrário o qCO₂ prevaleceu no solo sob monocultivo de soja (Tabela 4). Tais resultados confirmam a importância da avaliação conjugada de indicadores distintos (físico-microbiológicos) e, assim, adequa-se satisfatoriamente na caracterização do efeito antrópico em sistemas agrícolas, de modo que pesquisas recentes já discutem essas interações (LOURENTE et al., 2011), concluindo a eficiência de indicadores microbiológicos em prever modificações em indicadores físicos em função de diferentes manejos do solo.

Diante desses resultados, podemos perceber a complexidade no que concerne a análise da

qualidade edáfica, no entanto todos os indicadores físicos e microbiológicos selecionados apontaram modificações significativas, ratificando a importância do estudo em conjunto das características do solo para melhor interpretação e diagnósticos de possíveis entraves. A partir disso, então, gerou-se o índice de qualidade do solo (IQS) calculado pela junção dos indicadores significativamente alterados no solo sob cerrado nativo e monocultivo de soja e, assim, a partir da subtração da área limítrofe pela circunscrita (forma ameboide) obteve-se o índice igual a 0,26 para o monocultivo de soja (Figura 2).

Esse índice indica uma redução na qualidade edáfica do solo sob monocultivo de soja de 73,50 % em relação ao do cerrado nativo e, que de acordo com Sepúlveda (2008), a capacidade de sustentação desse sistema produtivo é considerado crítico, já que o índice está bem abaixo dos resultados considerados desejáveis, isto é, notas iguais ou acima de 0,6, os quais correspondem aos níveis estável e ótimo, respectivamente.

Tabela 5. Correlação simples entre variáveis físicas e biológicas de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico sob monocultivo de soja.

	Ug	Ma	Mi	Pt	Ds	Rp	A>2	C-mic	C-CO ₂	qCO ₂	qMIC
Ug	1,000										
Ma	0,6479**	1,000									
Mi	-0,7212	-0,4802	1,000								
Pt	0,2843	0,5772	0,4481	1,000							
Ds	-0,5478	-0,7590	-0,7632	-0,8280**	1,000						
Rp	0,1496	0,0263	0,0053	0,4406	0,2982	1,000					
A>2	-0,5442	-0,0087	0,7607	0,6184	-0,4484	0,4400	1,000				
C-mic	-0,6573	-0,4177	0,8817*	0,4027	-0,1707	0,1086	0,6185	1,000			
C-CO ₂	0,7095	0,1706	0,0942	0,0901	0,0023	0,7366	0,1754	0,4501	1,000		
qCO ₂	0,4547	0,3283	-0,8332	-0,1853	0,0478	0,0026	-0,2430	-0,8451*	0,8597*	1,000	
qMIC	-0,6572	-0,4177	0,8817*	0,4027	-0,1407	0,1006	0,6195	0,0990**	-0,490*	-0,8451*	1,000

Obs. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 1$), * significativo a 5% de probabilidade ($p < 5$), pelo teste de Student; Ug= umidade gravimétrica, Ma= macroporosidade, Mi= microporosidade, Pt= porosidade total, Ds= densidade do solo, Rp= resistência a penetração, A>2= agregados maiores que 2 mm, C-mic= carbono da biomassa microbiana, C-CO₂= respiração do solo, qCO₂= quociente metabólico, qMIC= quociente microbiano.

Os resultados encontrados advertem que o solo está sendo exaurido sem muitas preocupações em termos de conservação e que se encontra num estágio de degradação suscetível a prejuízos econômicos e ambientais e, possivelmente, caso não haja reformulação desse sistema produtivo em vigor, poderá comprometer a resiliência e a homeostase do solo, ou seja, sua habilidade em resistir a perturbações e retornar ao estágio anterior a elas, respectivamente (GLEISSMAN, 2005).

Essa combinação do índice de qualidade do solo (IQS) (Qualigrama), conforme Ramos et al. (2010), com níveis de sustentabilidade (NS), adaptados de Sepúlveda (2008) apresentou o estado da interferência antrópica no solo sob monocultivo de soja num determinado momento, dando uma ideia da contribuição de cada

indicador para o desenvolvimento sustentável do sistema. Além disso, o uso de um único gráfico em exibir os desequilíbrios no sistema produtivo permitiu a identificação dos indicadores, que estavam comprometendo o (IQS). Igualmente, favorece a conscientização quanto à permanência ou não de um manejo adotado; permite diferenciar ambientes sob distintos usos, recomendável, então, na avaliação de degradação ambiental. Da mesma forma, evidencia a importância da formação de bancos de dados locais, considerando que a utilização de métodos padronizados é fundamental para comparação de resultados no espaço e no tempo.

Conclusões

O uso intensivo da área agrícola sob semeadura direta de soja tanto em função do

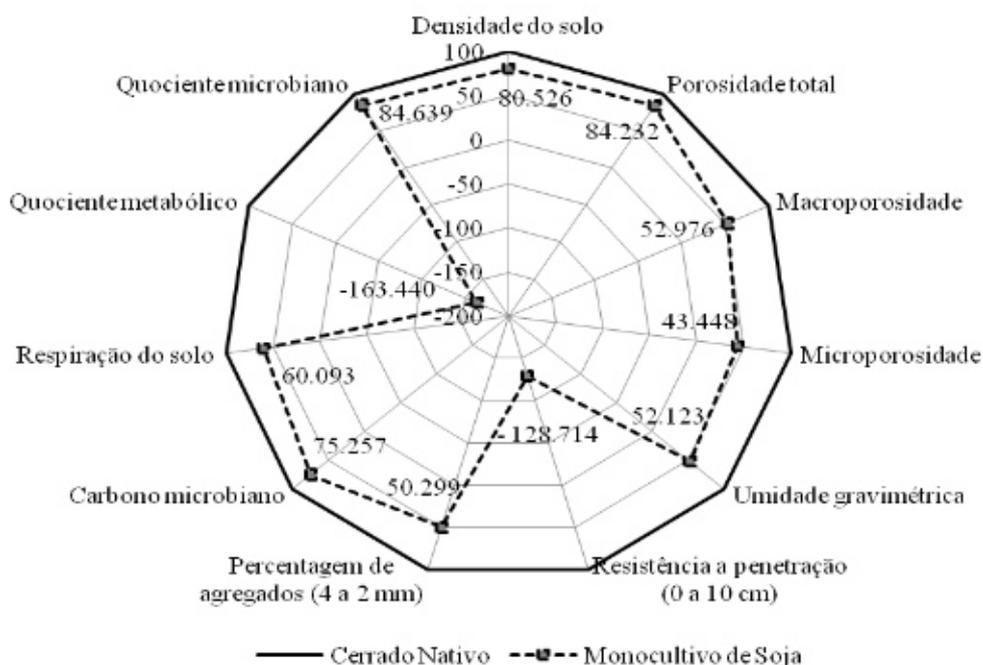


Figura 2. Qualigrama comparativo distribuído em indicadores físicos e microbiológicos em relação ao cerrado nativo (100%) na profundidade de 0 a 10 cm, Cáceres-MT, 2009.

efeito acumulativo do tráfego de maquinários quanto pela fraca biodiversidade vegetal promoveu bruscas alterações físico-microbiológicas na qualidade do solo;

A agregação do solo na área sob monocultivo de soja diminuiu pela alteração na dinâmica dos microrganismos do solo em função do decaimento dos níveis do carbono da biomassa microbiana (C-MBS) e do quociente microbiano (qMIC);

Verificou-se que a avaliação independente de indicadores físicos e microbiológicos, que estimam a qualidade edáfica sem qualquer correlação e combinação é insuficiente para adequada explicação dos resultados.

Referências Bibliográficas:

- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p.393-395, 1993.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v.31, p. 1099-1108, 2007.
- ASSISTAT: Statistical Assistance (Versão 7.5 beta, 2010). Disponível em: >> <http://www.assistat.com/indexi.html> <<. Acesso em: 03 de Março de 2010.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. cap. 2. p. 9-26.
- BROOKES, P. The Soil Microbial Biomass: Concept, Measurement and Applications in Soil Ecosystem Research. **Microbes and Environments**, v.16, n. 3, p. 131-140, 2001.
- CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D. de.; REIS, E.F. dos.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.
- DIAS, J.E.; ABOUD, A.C.S.; GUERRA, J.G.M.; SALLES, R.R.; FERREIRA, V.G.; SILVA, J.X. Monitoring land use and plant cover on an Integrated Agroecological Production System through GIS. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 5, n. 2, p. 275-287, 2010.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America Proceedings, 1994. p.3-21.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: A minimum data set. In: DORAN, J.W., JONES, A.J. (Eds). **Methods for assessing soil quality**. Madison, Soil Science Society of American, 1996, cap 39. p 25-37.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (BRASIL). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2ª ed. rev., 1997. 212 p.
- FIGUEIREDO, C.C. de.; SANTOS, G.G.; PEREIRA, S.; NASCIMENTO, J.L.do.; JÚNIOR, J.A. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.2, p.146-151, 2009.
- GAERTNER, C.; DEDECEK, R.A.; BISCAIA, R.M. Produtividade de trigo e soja em Latossolo Vermelho distrófico sob erosão simulada e causada pela chuva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 12, p. 1443-1449, dez. 2003.
- GLEISSMAN, S.R. Agroecologia: **Processos ecológicos em agricultura sustentável**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS: Porto Alegre, 3 ed., 2005. 653 p.
- JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A. da; SANTOS, J.B. dos; VIVIAN, R. Qualidade da Camada Superficial de Solo sob Mata, Pastagens e Áreas Cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.
- JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 8, p.167-177, 1976.
- KLEIN, V.A.; CAMARA, R.K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n.

- KLEIN, V.A.; CAMARA, R.K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p 221-227, 2007.
- LOURENTE, E.R.P.; MERCANTE, F.M.; ALOVISI, A.M.T.; GOMES, C.F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C.M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.
- MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. 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, n. 3, p. 425-433, 2003.
- MELO, J.A.B.; PEREIRA, R.A.; DANTAS NETO, J.; LIMA, E.R.V. Propriedades do solo e propensão à desertificação na Microbacia do Riacho do Tronco, Boa Vista, PB. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 5, n. 2, p. 234-246, 2010.
- NEVES, S. M. A. S. Condição climática de Cáceres-MT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 7., 2006, Rondonópolis. **Anais...** Rondonópolis: DGEO/ICHS/CUR/Universidade Federal de Mato Grosso, 2006. p. 665-674.
- PEREZ, K.S.S.; RAMOS, M.L.G.; McMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.567-573, 2004.
- RAMOS, F.T.; RAMOS, D.T.; CREMON, C.; ROQUE, M.W. Erosão por salpicamento sob diferentes sistemas de manejo em um neossolo quartzarênico em Cáceres (MT). **Global Science and Technology**, v. 4, n. 1, 2011.
- RAMOS, F.T.; MONARI, Y.C.; NUNES, M.C.N.; CAMPOS, D. T. S.; RAMOS, D. T. Indicadores de qualidade em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagem extensiva no pantanal matogrossense. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 112-120, 2010.
- ROSOLEM, C.A.; ALMEIDA, A.C.da S.; SACRAMENTO, L.V.S.do. Sistema Radicular e nutrição da Soja em função da Compactação do Solo. **Bragantina**, Campinas, v. 53, n. 2, p 259-266, 1994.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e Estabilidade de Agregados do Solo em sistemas Agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.1, p. 11-21, 2008.
- SEPÚLVEDA, S. **Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios**. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2008. 133 p.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmula de transformação os dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p. 229-235, 1991.
- STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M. **Influência de sistemas de rotação de culturas nos atributos físicos do solo**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2005. 15p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 16).
- TISDALL, J.M. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. **Plant and Soil**, v. 159, n. 1, p. 115-121, 1994.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.33, p.141-163, 1982.
- WAKINDIKI, I.I.C.; BEN-HUR, M. Soil Mineralogy and Texture Effects on Crust Micromorphology, Infiltration, and Erosion. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p 897-905, 2002.
- WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa/SPI, Londrina: Embrapa/CNPso, Santo Antônio de Goiás: Embrapa/CNPAF, p 419-436, 1994.