

INDICADORES DE QUALIDADE EM UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SOB PASTAGEM EXTENSIVA NO PANTANAL MATOGROSSENSE¹

FABRICIO TOMAZ RAMOS^{2*}, YURI CARRELO MONARI³, MARIA CÂNDIDA MOITINHO NUNES³, DANIELA TIAGO DA SILVA CAMPOS², DENIS TOMÁS RAMOS²

RESUMO - O uso sustentável do solo constitui-se numa preocupação crescente em função dos diversos manejos e usos agrícolas inapropriados. Apesar da expansão do conhecimento científico na área de solos verifica-se que o uso de indicadores, que estimam sua qualidade, de maneira independente não permite uma adequada avaliação para posterior diagnóstico de desequilíbrios em sistemas de produção. Diante disso, objetivou-se diagnosticar alterações sobre importantes indicadores físicos e microbiológicos em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob pastagem extensiva e vegetação nativa sob condições pantaneiras. Os resultados indicaram degradações físico-microbiológicas significativas no ambiente antropizado com reduções médias nos indicadores de 51,62%; 10,30%; 16,36%; para carbono microbiano, respiração basal, percentagem de agregados via úmida, respectivamente; e aumentos para a densidade do solo, resistência mecânica do solo à penetração, quociente metabólico de 184,68%; 142,18%; 88,31%, respectivamente. Com a inserção desses resultados em um Qualigrama permitiu-se obter um índice quantitativo da qualidade do solo sob a pastagem extensiva igual a -0,0814. Com base neste índice qualificou-se a sustentabilidade do manejo acumulativo sobre a pastagem como um "sistema em colapso" em comparação ao ambiente nativo.

Palavras-chave: Pantanal. Pecuária. Manejo do solo. Qualigrama. Cáceres - MT.

PHYSICAL AND MICROBIOLOGICAL INDICATORS OF QUALITY OF A RED-YELLOW LATOSSOL (OXISSOL) UNDER EXTENSIVE PASTURE IN THE BRAZILIAN PANTANAL

ABSTRACT - The sustainable use of land constitutes a growing concern for different managements and inappropriate agricultural practices. Despite the expansion of scientific knowledge on soil it appears that the use of indicators to estimate their quality, independently does not allow a proper evaluation for the diagnosis of imbalances in production systems. This research aimed to diagnose changes on important physical and microbiological indicators in a dystrophic Red-Yellow (Oxissol) under extensive grazing conditions and native vegetation in the Brazilian Pantanal. The results showed significant deterioration in physical and microbiological environment anthropized with average reductions in indicators of 51.62%, 10.30%, 16.36%, for microbial carbon, basal respiration, percentage of wet aggregates, respectively, and increases for soil density, soil resistance to penetration, metabolic quotient of 184.68%, 142.18%, 88.31%, respectively. By inserting these results in a Qualigram allowed to obtain a quantitative index of soil quality under extensive grazing equal to -0.0814. Based on this index has qualified sustainable management of cumulative effects on pasture as a "system under collapse" compared to the native environment.

Keywords: Pantanal. Livestock. Soil management. Qualigram. Cáceres - MT.

*Autor para correspondência.

Recebido para publicação em 09/01/2010; aceito em 12/05/2010.

¹Trabalho do curso de graduação em agronomia do primeiro e segundo autor.

²Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança, 78060-900, Cuiabá - MT; fabricio.tomaz@hotmail.com; camposdts@yahoo.com.br; denisagropec@hotmail.com

³Campus Universitário Jane Vanini, Universidade do Estado de Mato Grosso, av. Tancredo Neves, 1095, Cavalha II, 78200-000, Cáceres - MT; yurimonari87@hotmail.com; nunes.candida@gmail.com

INTRODUÇÃO

O Bioma Pantanal situa-se na região Centro-Oeste, na Bacia do Prata, englobando partes dos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e do Paraguai. A dominância de áreas sob campo nativo favoreceu migrações inter-regionais, culminando com o desenvolvimento da pecuária bovina de corte no molde extensivo, que segundo Abdon et al. (2007), foi responsável pela maioria dos desmatamentos.

A quantificação da área do Bioma mostrou que 11,27% foi desmatado até 2002 com plantio de pastagens cultivadas em 98,14%. O Mato Grosso contribuiu com 52,3% e o município de Cáceres está entre os que possuem a maior extensão territorial no interior do Bioma e o maior percentual de supressão da vegetação natural (ABDON et al., 2007).

Nesse processo de substituição de ambientes nativos, conforme Gleissman (2005), de espécies vegetais (ecologicamente adaptadas, espacial e temporalmente às condições locais) por espécies exóticas (geralmente menos harmonizadas com um novo ambiente e mais exigentes em relação às condições de solo para expressar seu potencial genético) podem ocorrer diversas modificações ambientais. Dentre essas ações prejudiciais, a degradação do solo, por meio de manejos inadequados constitui-se uma das mais preocupantes, uma vez que têm levado a uma crescente degradação físico-químico-biológica do solo e do sistema produtivo como um todo (DIAS FILHO, 2007; COSTA et al., 2008; SALTON et al., 2008; CARNEIRO et al., 2009; HOFFMANN et al., 2009). Exemplificando, em pastagens manejadas inadequadamente, a abrangência e o reflexo destas deteriorações são determinados pelo tipo do solo, pela taxa de pisoteio, altura de reentrada na pastagem, quantidade de biomassa sobre a superfície e, principalmente, pela umidade do solo na ocasião do pastejo (BETTERIDGE et al., 1999).

O principal efeito do excessivo pisoteio animal é a compactação do solo, que pode promover alterações nos indicadores físicos do solo, comprometendo o desenvolvimento normal do sistema radicular tais como, a modificação da estrutura e da densidade (AZEVEDO; SVERZUT, 2007; FIGUEIREDO et al., 2009); da macroporosidade total e do tamanho e continuidade dos poros (JAKELAITIS et al., 2008); do armazenamento e a capacidade de infiltração da água no solo, resultando em aumento do escoamento superficial com perda de matéria orgânica (WAKINDIKI; BEN-HUR, 2002; ARAÚJO et al., 2007). Logo, são entraves, que podem diminuir a resiliência e homeostase do solo e, conseqüentemente, aumentar os danos ambientais e os custos de produção.

Diante disso, abordagens interdisciplinares devem ser usadas e correlacionadas para avaliar a qualidade do solo, entre elas estimativas microbiológicas, por responderem mais rapidamente às altera-

ções do ambiente edáfico frente à decomposição da matéria orgânica no solo (DORAN; PARKIN, 1994). Além disso, os microrganismos são considerados um reservatório lábil de nutrientes, que atuam de forma ativa na decomposição de resíduos, no fluxo de energia e na ciclagem de nutrientes no solo (GLIESSMAN, 2005). Da mesma forma, os agregados podem ser usados como indicadores, por estarem intimamente associados com a dinâmica da matéria orgânica e a qualidade edáfica, constituindo estimativas adequadas e altamente sensíveis aos efeitos da vegetação na estabilidade do solo (TISDALL; OADES, 1982; OADES, 1984).

Se o solo constitui um componente básico à atividade agropecuária, a conservação de sua qualidade é essencial para evitar prejuízos ambientais e na produção. Assim, o objetivo desta pesquisa foi estimar indicadores físicos e microbiológicos em uma área sob pastagem implantada por sete anos a fim de verificar os efeitos do manejo extensivo sobre o solo.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na região Sudoeste do Estado de Mato Grosso, município de Cáceres, latitude 16°03'40,7" S, longitude 58°19'21,6" W e altitude de 184 metros. O clima pela classificação de Köppen é tropical úmido, com temperatura máxima anual de 32,4 °C e mínima de 20,3 °C, apresentando duas estações bem definidas, com verões chuvosos (outubro-março) e invernos secos (abril-setembro). A pluviosidade anual média é de 1311,85 mm, com chuvas no verão que chegam a atingir 55% da precipitação anual.

O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2006), segundo o levantamento feito por Moreira e Vasconcelos (2007), e sua caracterização química e textural encontram-se na Tabela 1, conforme (EMBRAPA, 1997).

Amostras de solo foram coletadas à profundidade de 0-10 cm, em março de 2009, nos seguintes ambientes: (i) solo sob pastagem implantada com *Brachiaria brizantha* (cultivar Marandu) por sete anos e manejada de modo extensivo com bovinos nelores para engorda, com média de 1,5 U.A. ha⁻¹, sem controle de lotação e de altura de reentrada animal. Na época da implantação não foi realizada correção química do solo e a semeadura foi realizada a lanço, após duas gradagens, sem incorporação das sementes. Durante as amostragens a pastagem apresentava raleamento em algumas partes, indicando a degradação do solo; (ii) solo sob vegetação nativa do pantanal, área sem histórico de perturbação antrópica e selecionada como referência para comparação dos indicadores avaliados, além disso, apresentava espessa camada de serrapilheira em superfície de aproximadamente 5 cm e grande quantidade de raízes finas nos primeiros centímetros do solo.

Sob condições de relevo plano foram realizadas amostragens simples ao acaso segundo um Delimitamento Inteiramente Casualizado, tendo como base uma área de 2,500 m², dividida em quadrantes (parcelas) de 10 x 10 m, equivalente para os dois ambientes, de acordo com a metodologia de Carneiro et al. (2009), separadas por uma bordadura de 4 m. As amostras simples para compor uma média geral para cada parcela, assim, foram coletadas dentro de seis parcelas (repetições) escolhidas ao acaso para cada ambiente.

Os indicadores físicos foram processados no Laboratório de Solos e os microbiológicos no Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus de Cuiabá.

Os indicadores físicos determinados 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 por ambiente (EMBRAPA, 1997); 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 25 amostras (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 20 amostras simples por quadrante, as quais depois de homogeneizadas constituía uma composta, no total, então, de 6 por ambiente. Além disso, em laboratório realizou-se a análise em triplicata de cada composta para compor uma média.

Os indicadores físicos e microbiológicos foram submetidos à correlação simples (r) pelo Teste t; e 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, adaptado de ARAÚJO et al. (2007). Essa relação foi obtida por meio da subtração da área limítrofe (solo sob vegetação nativa) pela circunscrita (solo sob pastagem) 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 com base em níveis qualitativos, adaptado de Sepúlveda (2008), considerando os padrões: (i) ótimo – $0,8 \leq x \leq 1$; (ii) estável – $0,6 \leq x < 0,8$; (iii) instável – $0,4 \leq x < 0,6$; (iv) crítico – $0,2 \leq x < 0,4$; e (v) alta possibilidade de colapso – $x < 0,2$.

Tabela 1. Caracterização química e textural de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob cerrado nativo e pastagem, na profundidade de 0 a 10 cm, Cáceres-MT.

Variáveis Químicas	Ambientes	
	Vegetação Nativa	Pastagem
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	10,47	11,60
pH (H ₂ O)	5,40	5,80
P (mg dm ⁻³)	1,00	6,00
K (mg dm ⁻³)	0,07	0,16
Ca (cmol _c dm ⁻³)	1,70	1,90
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,00	0,80
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,00	0,20
(H + Al) (cmol _c dm ⁻³)	3,90	25,00
Soma de bases (cmol _c dm ⁻³)	2,77	2,86
CTC (T) (cmol _c dm ⁻³)	6,67	27,86
Saturação por bases (%)	41,53	10,00
Areia (g kg ⁻¹)	740	800
Silte (g kg ⁻¹)	80	80
Argila (g kg ⁻¹)	180	120

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O reflexo do manejo extensivo sobre os indicadores de qualidade no solo sob pastagem ao longo dos setes anos foi suficiente para provocar mudanças significativas, em razão do aumento da densidade e decréscimo da porosidade total do solo (Tabela 2).

Na pastagem, provavelmente, o excesso de pisoteio animal, a negligência quanto ao pastejo contínuo e a ausência no controle da reentrada animal

sejam as causas das modificações físicas depreciativas representadas pelos dados da Tabela 2. Esse manejo inadequado resulta, portanto, de uma possível combinação de fatores, desencadeando a compactação do solo pela diminuição do seu volume, devido à compressão pelo peso excessivo dos animais, levando à expulsão do ar do solo e uma nova reorganização dos agregados no solo, tendo como consequência o aumento da densidade e a redução da porosidade total do solo.

Tabela 2. Indicadores de qualidade física de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico arenoso sob pastagem extensiva e vegetação nativa.

Indicadores Físicos	Ambientes		DMS ¹	CV (%) ²
	Pastagem	Vegetação Nativa		
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,589 a ³	0,555 b	0,094	6,859
Porosidade total (m ³ m ⁻³)	0,380 a	0,448 b	0,054	10,248
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)	0,179 a	0,204 a	0,058	23,612
Microporosidade (m ³ m ⁻³)	0,243 a	0,201 a	0,049	17,435
Umidade gravimétrica (kg kg ⁻¹)	0,064 a	0,065 a	0,036	4,427

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

O efeito do pisoteio bovino sobre pastagens, em estudos de Carneiro et al. (2009), foi tido também como contribuinte para maior densidade do solo em relação ao ambiente nativo, e isso ocorre, principalmente, nas camadas mais superficiais (VZZOTTO et al., 2000; FIGUEIREDO et al., 2009). No entanto, quanto aos dados da presente pesquisa, mesmo ocorrendo alteração na densidade do solo, os valores encontrados foram menores que o índice crítico de 1,75 g cm⁻³ para o crescimento radicular em solos arenosos (MEDINA, 1985; CORNINI; FERRAUDO, 1999).

Da mesma forma, o uso do penetrômetro de impacto também foi eficiente na identificação de camadas compactadas (Figura 1). Com base nela, observam-se diferenças superficiais significativas entre os sistemas de uso do solo em estudo, corroborando com o aumento da densidade do solo nos 10 cm iniciais, mencionado anteriormente.

Esse resultado deve-se, provavelmente, ao histórico de manejo discutido na metodologia e ao efeito do pisoteio animal, o qual é limitado às camadas mais superficiais. Apesar dos valores de umidade gravimétrica não diferirem, possivelmente em função amostragens terem sido realizadas sob condições de ausência de chuva por mais de 20 dias, o aumento dos valores de densidade e de resistência a penetração superficiais alertam uma possível condição restritiva para o desenvolvimento radicular da pastagem.

Estudos destacam que a resistência do solo à penetração tende a aumentar com a compactação das camadas e mais ainda com a redução da umidade. Portugal et al. (2007), os quais caracterizaram indicadores do solo com diferentes usos agrícolas, en-

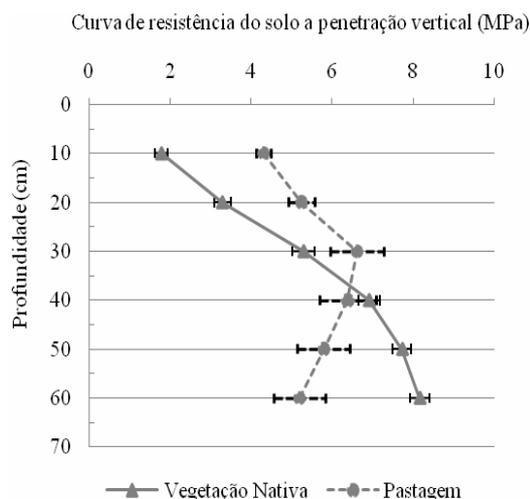


Figura 1. Resistência mecânica à penetração vertical em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico arenoso sob vegetação nativa e pastagem extensiva. As barras indicam os valores de erro padrão da média e a sobreposição destas denota a ausência de diferenças entre as médias dos tratamentos (ambientes).

encontraram, sobretudo, para a área com pastagem, maiores valores de resistência a penetração, evidenciados pelos maiores resultados de densidade do solo e pela menor umidade do solo no momento da avaliação. Logo, a avaliação isolada de indicadores do solo não é representativa e se torna insignificante para uso prático.

No entanto, a redução da compactação abaixo dos 30 cm na pastagem é bastante interessante, já que a ação do pisoteio concentra-se acima. Mesmo não conhecendo os valores de umidade abaixo dos

10 cm de profundidade e levando em consideração mais de 20 dias sem chuva no local a explicação para essa redução parece convergir para o modelo hierárquico de construção de agregados, proposto por Oades (1984). Este propõe que hifas fúngicas e raízes, principalmente, as de menor diâmetro atuam como núcleos de formação de microagregados. Estas, por serem ligantes temporários, ao se decomporem, formam fragmentos recobertos por mucilagens e incrustados de argilas, dando origem a novos agregados. Do pressuposto, uma vez que o solo sob mata concentrava a maior parte das raízes finas em superfície em aproximadamente 20 cm, ao contrário sob a *B. brizantha*, a qual conseguia alcançar porções do perfil com suas raízes finas em maior profundidade, contribui, assim, para estruturação em profundidade e, conseqüentemente, redução da resistência a penetração.

A contribuição do sistema radicular de *Brachiaria decumbens*, profundo e ramificado, no aporte de carbono orgânico no perfil do solo foi destacada também por Barreto et al. (2006), uma vez que encontraram correlação negativa entre a densidade do solo versus o carbono orgânico e nitrogênio do solo.

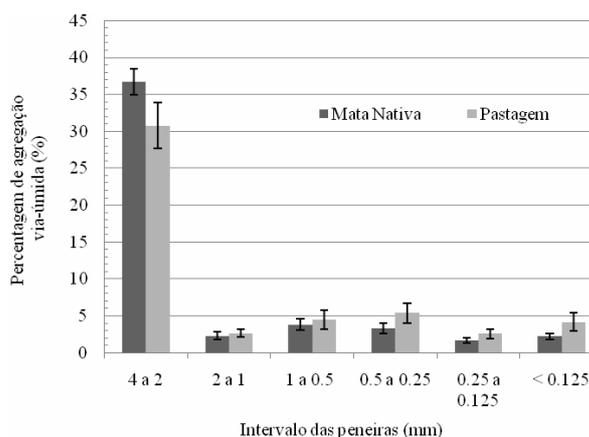


Figura 2. Percentagem de agregados por via úmida, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico arenoso sob vegetação nativa e pastagem extensiva. As barras indicam os valores de erro padrão da média e a sobreposição destas denota a ausência de diferenças entre as médias dos tratamentos.

Com base nos dados dessa Figura 2, verifica-se que, na classe de (4 a 2 mm), o solo sob pastagem apresentou uma redução de 16,36% na estabilidade de agregados via úmida em relação ao solo sob vegetação nativa.

A maior proporção de agregados entre (4 a 2 mm) na mata nativa, provavelmente, seja, conforme Oades (1984), devido a maior diversidade florística, a ausência de movimentação, a quantidade de resíduos e de raízes e hifas fúngicas em ambiente nativo, que favorecem a formação de agregados maiores e mais estáveis, ao contrário do solo sob *B. brizantha*, no qual, provavelmente, estes efeitos estão sendo prejudicados pelo manejo adotado, o que, de certa

forma, dificulta o restabelecimento vegetal.

Além disso, conforme Salton et al. (2008), a tendência de manejos não conservacionistas do solo é romper mesmo a estrutura anterior, fracionando agregados maiores em menores, levando a uma modificação do volumes de poros e na densidade do solo, visto como um dos processos condicionadores da degradação do solo de plantios em geral, reduzindo a estabilidade dos agregados (Figura 2). Isso acontece, conforme Tisdall e Oades (1982), pela exposição da matéria orgânica (agente cimentante), antes protegida (intra-agregados) dos microrganismos.

Os indicadores biológicos avaliados, propostos como sensíveis indicadores, por identificarem alterações edáficas precocemente, foram importantes para avaliar a qualidade edáfica em relação ao manejo extensivo adotado durante os sete anos na pastagem. As médias são apresentadas na Tabela 3.

Quanto ao carbono microbiano (C-BMS), observou-se uma redução significativa de 51,61% na pastagem. Dessa maneira, após a introdução do solo para fins pastoreios, ocorreu queda nos níveis de biomassa microbiana, isto é, da fração viva (lábil) e mais ativa da matéria orgânica do solo na área da pastagem.

Essa queda nos níveis de (C-BMS), segundo Tisdall e Oades (1982), provavelmente ocorre pela supressão de condições favoráveis ao desenvolvimento dos microrganismos como, maior diversidade de plantas; camada mais espessa de serrapilheira, reduzindo a amplitude de variação de temperatura e umidade no solo; maior quantidade de raízes, que aumentam a entrada de substratos carbonados no sistema via exsudatos radiculares. Além disso, em solos preservados como o da vegetação nativa os macroagregados do solo, nicho principal de atividade dos microrganismos são conservados, além de favorecer uma maior disponibilidade de matéria orgânica, fonte de energia e nutrientes para os microrganismos.

Comparando o resultado da respiração basal do solo (C-CO₂) entre os ambientes, embora apresente uma pequena diferença de 10,03%, todavia é importante por precaver e repensar o manejo a fim de evitar um possível desequilíbrio. Com base nos trabalhos de Tisdall e Oades (1982); Araújo et al. (2007), podemos perceber porque ocorre essa diminuição na taxa respiratória, a qual está relacionada com a diferenciação da serrapilheira densa e a grande quantidade de raízes, substratos energéticos, que instigam as atividades microbióticas do solo, principalmente nos primeiros centímetros do solo.

O quociente metabólico (qCO₂), que refere-se a quantia de energia necessária para metabolizar um substrato, permitiu distinguir a biomassa microbiana mais hábil em converter C- orgânico em (C-BMS), isto é, no solo sob vegetação nativa. Ao contrário, pelo aumento de 48,27% da necessidade energética para digerir o novo alimento, representado pela graminéa exótica (pastagem), permitiu, assim, caracteri-

zá-la como menos eficiente nessa conversão.

Além disso, outras situações de desequilíbrio ambiental como, matéria orgânica de baixa qualidade ou comunidades microbianas sob condições de estresse, por exemplo, deficiência de nutrientes, acidez, déficit hídrico, são capazes de diminuir a utilização do C- orgânico e se isso ocorrer é refletido no quociente microbiano (qMIC), o qual tende a diminuir como indicado na Tabela 3. Esse (qMIC) refere-se a percentagem de carbono lábil em célula microbianas, que em geral varia de 1% a 4% do carbono total do solo, embora valores inferiores não necessariamente possam indicar comprometimento das funções microbianas no solo, como o observado neste trabalho no solo sob mata nativa.

Essa variação é notória, conforme Peres et al. (2004), uma vez que avaliando em épocas de amostragem diferentes obtiveram também valores disparres de (qMIC) em um Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso, ficando claro que no mesmo ambiente apenas mudando o período de coleta nota-se variações quanto ao (qMIC). Logo, dizer que o valor encontrado reflita algum fator limitante à atividade dos microrganismos é desaconselhável. No entanto, conforme Wardle (1994), a mudança de um fator limitante para uma condição favorável ao crescimento microbiano junto com o aporte de material orgânico de qualidade é capaz de aumentar o valor do (qMIC). Assim, se populações de microrganismos variam entre centímetros no solo é de se esperar resultados diferentes em função das diversidades edafomorfológicas em sistemas de produção agropecuários.

Essa importância da cobertura vegetal, viva e, ou morta, de qualidade é fundamental, já que SOUTO et al. (2009), avaliando a cinética da respiração edáfica em ambiente sob plantação de jurema-preta sem acúleos (*Mimosa hostilis* Benth.) e área degradada sem vegetação, nas condições do semi-árido paraibano observaram, também, que a supressão de condições favoráveis a atividade dos microrganismos, ou seja, a ausência ou ineficiência da cobertura vegetal sobre o solo foi tida como responsável pela variação na atividade dos mesmos ao longo do dia. Portanto, são resultados que auxiliam no sentido de adaptar técnicas culturais que poderão favorecer a atividade mais equilibrada dos microrganismos do solo a fim de evitar a diminuição do (C-BMS) e (qMIC) do solo.

No solo existem diversas interações físicas e biológicas em maior ou menor grau de sensibilidade e importância. Entretanto, segundo Doran e Parkin (1994), devido à maior suscetibilidade dos indicadores microbiológicos em predizer modificações na qualidade do ambiente edáfico, a correlação com outras categorias poderá apontar relações entre indicadores, que no manejo podem ser reciprocamente alterados e, portanto, fundamental para corrigir interações negativas. Dessa maneira, os indicadores medidos na pastagem extensiva, que indicarem correlações positivas ou negativas entre si poderão ser

vise-versa modificados.

Reforçando a correlação positiva entre (C-BMS x qMIC, $R^2 = 0,99/\alpha = 0,01$), da mesma forma, a (C-BMS x Ug, $R^2 = 0,81/\alpha = 0,05$) e (qMIC x Ug, $R^2 = 0,81/\alpha = 0,05$) é compreensível, visto que segundo Tisdall e Oades (1982) em áreas sob vegetação natural conservadas e em razão da maior diversidade de plantas corroboram por acumular resíduos vegetais, os quais diminuem a amplitude dos valores de temperatura e umidade; também, segundo Oades (1984) a persistência de hifas fúngicas e a maior quantidade e extensão de raízes finas otimizam o aporte de substratos carbonados no sistema via exsudatos radiculares ou após a senescência.

A maior disponibilidade de material orgânico, o qual é fonte de energia, nutrientes e proteção, estimula o aumento dos microrganismos, confirmando a correlação positiva entre (C-BMS x Ug) e (qMIC x Ug) e a importância da cobertura vegetal permanente, suficiente e diversificada em proteger o solo, pois as correlações negativas entre (C-BMS x qCO₂, $R^2 = 0,94/\alpha = 0,01$ e qMIC x qCO₂, $R^2 = 0,94/\alpha = 0,01$) apenas confirmam que a diminuição do (C-BMS) e (qMIC) ocorrem em função de maior gasto energético para quebrar um material orgânico, agravando se outros fatores limitantes à atividade dos microrganismos ocorrerem simultaneamente como, matéria orgânica de baixa qualidade ou que apresentam comunidades microbianas vivendo sob condições de estresse, por exemplo, deficiência de nutrientes, acidez, déficit hídrico.

Essas correlações assim como as observadas por Barreto et al. (2006), indiferentemente, apontaram para um ponto comum, isto é, que refere-se a influência positiva da cobertura vegetal natural na qualidade do solo, principalmente nos primeiros centímetros do solo, onde concentram os materiais orgânicos em diferentes estágios de decomposição, isto é, a camada de serrapilheira.

A seguir foram conjugados os indicadores físicos e microbiológicos significativamente alterados no Qualigrama, atribuindo para as médias dos valores encontrados no ambiente referencial, ou seja, no solo sob mata nativa uma qualidade de 100% e, assim, as médias encontradas e significativamente alteradas na pastagem variaram em função daquelas. Logo, a forma “amebóide” a seguir representou o estado do solo sob pastagem (Figura 3).

A subtração do círculo maior pela circunscrita (amebóide) obteve-se um índice igual a (- 0,0814) na pastagem, indicando uma redução na qualidade edáfica de 108,14% em comparação ao ambiente natural. Diante desse índice e, conforme a metodologia qualitativa adaptada de Sepúlveda (2008), a capacidade de sustentação do sistema está em colapso já que o índice está bem além dos resultados considerados preocupantes, sendo desejáveis notas iguais ou acima de 0,6.

Tabela 3. Indicadores microbiológicos de qualidade em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico arenoso sob vegetação nativa e pastagem extensiva.

Indicadores Biológicos	Ambientes			
	Vegetação Nativa	Pastagem	DMS ¹	CV (%) ²
Carbono da biomassa microbiana: C-mic ($\mu\text{g g}^{-1}$)	9, 881a ³	4, 781 b	1, 274	13, 518
Respiração do solo: C-CO ₂ ($\mu\text{g g}^{-1}$)	2, 999 a	2, 699 b	0, 255	6, 964
Quociente metabólico: q CO ₂ ($\mu\text{g de CO}_2 \mu\text{g biomassa}^{-1}$)	0, 308 b	0, 585 a	0, 126	22, 013
Quociente microbiano: q MIC (%)	0, 943 a	0, 412 b	0, 115	13, 297

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

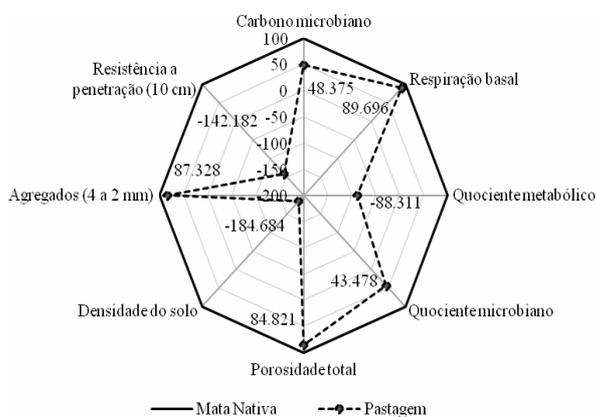


Figura 3. Qualigrama que compara em relação à vegetação nativa o solo sob pastagem extensiva, na profundidade de 0 a 10 cm, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico arenoso.

Isso significa que o manejo pelo qual a pastagem foi submetida durante os sete anos levou a um quadro de degradação do solo, advertindo prejuízos econômicos e ambientais e, 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). Além disso, certos estudos indicam a possível especificação da fitocenose (plantas cujos patrimônios genéticos muito se assemelham num espaço) em função do pastejo descontrolado, principalmente, em pastagem degradada e em via de degradação (LUNA; COUTINHO, 2007).

Mediante esta representação gráfica visualizou-se de maneira didática e instantânea o estado geral do sistema de produção nesse determinado momento e, assim, essa alternativa de visualizar em uma só imagem os desequilíbrios de diferentes sistemas de manejo possibilita, desse modo, a identificação da dimensão da alteração e, ou degradação em razão da contribuição particular de cada indicador alterado significativamente. Portanto, é uma nova metodologia que de certa forma auxilia na tomada de decisão quanto às intervenções ou outros instrumentos espe-

cíficos para corrigir aqueles indicadores que estão comprometendo o índice de qualidade.

Como mencionado esse qualigrama (índice quantitativo) foi complementado pelo índice qualitativo e ambos permitem quantificar a degradação do solo de uma unidade de produção em um determinado período de tempo, isto é, conforme o valor do índice se aproxima a 1 o sistema tem maior capacidade de sustentar-se a longo prazo, no entanto a medida que os índices aproximam a 0 verifica-se situação inversa.

O qualigrama obtido, portanto, permitiu diagnosticar possíveis entraves, no que concerne a perdas da qualidade edáfica, permitindo corrigir aqueles que comprometem o índice de qualidade do solo e o de sustentabilidade ambiental. Logo, constitui uma ferramenta importante para programar investimentos ou outras práticas culturais específicas para corrigir entraves. Além disso, 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, mas a utilização de métodos padronizados é fundamental para comparação de resultados.

No tocante a modificação do ecossistema nativo em homogêneo por gramíneas exóticas, de fato, o insucesso no estabelecimento, a superlotação das pastagens, a ausência de adubação de manutenção e manejadas extensivamente constituem-se nas principais causas de degradação do solo e, por daí, as pastagens no País (DIAS-FILHO, 2007; COSTA et al., 2008).

Portanto, considerando os benefícios ambientais e sociais da recuperação de pastagens degradadas em detrimento à conversão de novas áreas nativas em pastagens exóticas, essa estratégia permitirá a conservação dos recursos naturais para gerações subsequentes. Além disso, pesquisas têm estimulado o acréscimo da tecnologia no manejo de pastagens e dos animais traduzido pela maior intensificação da criação a pasto, com conseqüências, que poderiam indiretamente ajudar a preservar os recursos naturais da região e tornar a atividade mais lucrativa ao pecu-

arista.

CONCLUSÕES

O uso extensivo do solo sob pastagem e o efeito acumulativo do pisoteio animal influencia no aumento da densidade e resistência a penetração, e diminuição da porosidade do solo nos primeiros centímetros do solo;

Monocultivos desequilibram a microbiota do solo em razão da fraca diversidade florística, uma vez que indicadores microbiológicos são alterados significativamente;

A avaliação correlacionada dos indicadores físicos e microbiológicos é importante para prever interações positivas e negativas vice-versa alteradas;

O índice de qualidade do solo, que se refere a dados quantitativos e sua interpretação com base em níveis qualitativos de sustentabilidade, facilita a interpretação conjunta dos resultados, pois auxilia em discussões sobre a continuidade de um manejo.

REFERÊNCIAS

- ABDON, M. M. et al. Desmatamento no bioma pantanal até o ano 2002: relações com a fitofisionomia e limites municipais. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 59, n. 1, p. 17-24, 2007.
- 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, n. 3, 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, n. 5, p. 1099-1108, 2007.
- ASSISTAT: Statistical Assistance (Versão 7.5 beta, 2008). Disponível em: >> <http://www.assistat.com/indexi.html> <<. Acesso em: 11 de Maio de 2010.
- AZEVEDO, E. C. de; SVERZUT, C. B. Alterações dos Atributos Físicos e Químicos do Solo sob Pastagem no Sudoeste do Estado de Mato Grosso. **Revista Agricultura Tropical**, Cuiabá, v. 9, n. 1, p. 7-23, 2007.
- BARRETO, A. C. et al. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 4, p. 415-425, 2006.
- BETTERIDGE, K. et al. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 37, n. 4, p.743-760, 1999.
- CARNEIRO, M. A. C. et al. 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.
- CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 289-298, 1999.
- COSTA, C. et al. Evolução das pastagens cultivadas e do efeito bovino no Brasil. **Veterinária e Zootecnia**, Botucatu, v. 15, n. 1, p. 8-17, 2008.
- DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 3. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 190 p.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America Proceedings, 1994. p. 3-21.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (BRASIL). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (BRASIL). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.
- FIGUEIREDO, C. C. et al. 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.
- GLEISSMAN, S. R. **Agroecologia: Processos ecológicos em agricultura sustentável**. 3. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 653 p.
- HOFFMANN, R. B. et al. Diversidade da mesofauna edáfica como bioindicadora para o manejo do solo em areia, Paraíba, Brasil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 121-125, 2009.
- JAKELAITIS, A. et al. 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, n. 3, p. 167-177, 1976.
- LUNA, R. G. de; COUTINHO, H. D. M. efeitos do pastejo descontrolado sobre a fitocenose de duas áreas do cariri oriental paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 2, p. 8-15, 2007.
- MEDINA, B. F. Influência de dois métodos de preparo de área na compactação de um Latossolo Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 9, p. 67-71, 1985.
- MOREIRA, M. L. C.; VASCONCELOS, T. N. N. **Mato Grosso: Solos e Paisagens**. Cuiabá: Entrelinhas/Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral-SEPLAN, 2007. 272 p.
- OADES, J. M. Soil organic-matter and structural stability – mechanisms and implications for management. **Plant Soil**, v. 76, p 319-337, 1984.
- 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.
- PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. V.; COSTA, L. M. da et al. Características químicas e físicas de um Argissolo submetido a diferentes usos agrícolas. **Ceres**, Viçosa, MG, v. 54, n. 315, p. 412-421, 2007.
- SALTON, J. C. et al. Agregação e Estabilidade de Agregados do Solo em Sistemas Agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, 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.
- SOUTO, P. C. et al. Cinética da respiração edáfica em dois ambientes distintos no semi-árido da Paraíba, Brasil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 52-58, 2009.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.229-35, 1991.
- TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.
- VZZOTTO, V. R.; MARCHEZAN, E.; SEGABI-