

ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DA IRRIGAÇÃO E DO PASTEJO ROTACIONADO

**JOSÉ LUIZ RODRIGUES TORRES¹; DILSON JOSÉ RODRIGUES JUNIOR²;
DINAMAR MÁRCIA DA SILVA VIEIRA³**

¹Licenciado em Ciências Agrícolas, Professor Doutor em Produção Vegetal do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) Campus Uberaba-MG, Pós-doutorando no curso de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do solo (CPGA/CS) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), e-mail: jlrtorres@iftm.edu.br

²Bacharel em Zootecnia pelo IFTM Campus Uberaba-MG, e-mail: dilsonjrzoot@hotmail.com

³Tecnóloga em Gestão Ambiental pelo IFTM Campus Uberaba-MG, e-mail: marcinha_0202@hotmail.com

1 RESUMO

A degradação das pastagens cultivadas tem representado uma ameaça à sustentabilidade do sistema de produção animal no Brasil, dentre os problemas apontados destaca-se o manejo inadequado das pastagens que tem causado alterações nos atributos físicos do solo após determinado tempo. Neste estudo objetivou-se comparar as alterações ocorridas nos atributos físicos do solo em uma área sob pastagem rotacionada, com e sem irrigação, em Uberaba-MG. Avaliou-se a estabilidade dos agregados, diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), densidade do solo (Ds), resistência mecânica do solo a penetração (RP), umidade volumétrica (Uv), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e condutividade hidráulica (CH). Pode-se concluir que a manutenção da pastagem com e sem irrigação está proporcionando maior estabilização dos agregados na área na camada superficial do solo (até 0,10 m); Os maiores valores de RP foram observados nas profundidades até 0,10 m e apresentaram elevada correlação com a Uv do solo; Não ocorreram diferenças entre tratamentos e profundidades para a Ds; A melhora na estrutura com maior agregação do solo na camada superficial (0,00-0,05 e 0,05-0,10 m) causaram a diminuição nos valores de Ma e CH, com aumento da Mi.

Palavras-chave: Cerrado, compactação, densidade do solo, estabilidade dos agregados

TORRES, J.L.R.; RODRIGUES JUNIOR, D.J.; VIEIRA, D.M.S.

CHANGES IN PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SOIL AS A FUNCTION OF IRRIGATION AND ROTATIONAL GRAZING

2 ABSTRACT

Degradation of pastures has been a threat to the sustainability of animal production in Brazil. Among the problems identified, inadequate management of pastures stands out and has caused changes in physical properties of soil after a time period. The study aimed at comparing changes in physical properties of soil in an area of rotational grazing with and without irrigation in Uberaba city, MG. The following parameters were evaluated: stability of aggregates, mean weight diameter (MWD), geometric mean diameter (GMD), soil bulk

density (BD), soil resistance to penetration (RP), soil moisture (SM), macroporosity (Ma), microporosity (Mi) and hydraulic conductivity (HC). The results showed that the maintenance of pasture with and with no irrigation has been providing higher stabilization of aggregates in the superficial layer of soil (up to 0.10m); higher values of RP were observed in depths up to 0.10 m and they were highly correlated with SM of the soil. No differences were found between treatments and depths for BD. Improvement in the structure with greater soil aggregation in the surface layer (0.00-0.05 and 0.05-0.10 m) caused a decrease in values of Ma and HC and an increase in values of Mi.

Keywords: Cerrado, compaction, soil density, aggregate stability.

3 INTRODUÇÃO

A degradação das pastagens tornou-se um dos principais sinais da baixa sustentabilidade da pecuária nas diferentes regiões brasileiras, sendo o manejo inadequado do rebanho considerado como o principal causador dessa degradação. Associadas a este manejo inadequado estão às alterações causadas nos atributos físicos e a baixa reposição de nutrientes que causam a degradação dos solos, que somados aos baixos investimentos tecnológicos utilizados nas áreas de pastagem, diminuem a oferta de forragens e influenciam os índices zootécnicos dos animais, tendo como consequência a baixa produtividade de carne e leite por hectare, o reduzido retorno econômico e a ineficiência do sistema (Balbino et al., 2011).

A maior parte dos estudos que abordam o problema relaciona o processo de degradação com as interações entre fatores zootécnicos (taxa de lotação animal), da planta (perda de vigor, alteração morfológica) e do solo (atributos físicos e químicos), sendo que estes têm mostrado a existência de alta correlação entre eles (Leão et al., 2004; LanzaNova et al., 2007; Ferreira et al., 2010; Costa et al., 2012; Torres et al., 2012).

O manejo da carga animal por área pode contribuir para o estabelecimento de graus diferenciados de compactação, em consequência da pressão exercida sobre o solo (Costa et al., 2012). A maior intensidade de pastejo determina menor massa de forragem, redução da cobertura vegetal, aumento do tempo de pastejo e do deslocamento dos animais na busca pela forragem, que aumenta o pisoteio animal por unidade de área e torna maior a probabilidade de compactação do solo (Leão et al., 2004; Conte et al., 2011).

A compactação do solo é caracterizada pelo aumento da densidade, microporosidade, resistência à penetração e pela redução da macroporosidade. O efeito do pisoteio animal na compactação do solo varia com a textura do solo, teor de matéria orgânica e conteúdo de umidade no solo (Torres et al., 2012), quantidade de biomassa vegetal e intensidade, tempo de pastejo, espécie e categoria animal explorada (Salton et al., 2008).

Rassini (2004) em sua revisão destaca que a irrigação de pastagens na região Sudeste do Brasil aumenta a produção total de matéria seca, mantendo o solo com cobertura durante todo o ano e que em Minas Gerais os aumentos obtidos com irrigação na entressafra (outono/inverno) variam de 30 a 57% do total produzido na safra (primavera/verão). Sarmiento et al. (2008) destacam que a maior produção de massa verde nas áreas de pastagem amortece o pisoteio animal, entretanto o efeito deste pisoteio é potencializado quando o pastejo é realizado em solos com umidade elevada e baixa cobertura vegetal, o que evidencia a necessidade da cobertura vegetal para amenizar o efeito do pisoteio sobre a qualidade física dos solos.

Muller et al. (2002) observaram que a degradação da pastagem diminuiu a cobertura do solo e o deixou exposto à chuva e ao pisoteio do gado, que resultou em aumento da densidade na camada superficial, diminuição da macroporosidade e porosidade total, causando a diminuição do número de raízes no perfil do solo e aumentou a concentração do sistema radicular próximo à superfície, tornando a planta mais susceptível a déficits hídricos e com limitada capacidade de absorver nutrientes em camadas subsuperficiais. Betteridge et al. (1999) constataram que o pisoteio animal em toda superfície e repetidamente no mesmo local, pode promover drásticas alterações nas condições físicas do solo para o crescimento do sistema radicular e que a extensão e a natureza destes efeitos são determinadas pela taxa de pisoteio, tipo de solo e, principalmente, pela umidade do solo na ocasião do pastejo, que ao ser realizado em condições de umidade elevada maximiza a degradação física do solo, prejudicando o crescimento de plantas. Diante deste contexto, neste estudo avaliou-se as alterações nos atributos físicos do solo em função da irrigação e do pastejo rotacionado, em Uberaba-MG.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área experimental do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) Campus Uberaba, localizada nas coordenadas georreferenciadas de 19°39'19" de latitude Sul e 47°57'27" de longitude Oeste e altitude de 795 metros, numa área de pastagem de capim Tifton 85, após 40 meses de pastejo rotacionado (Janeiro/2008 a abril/2011).

O clima da região é classificado como Aw, tropical quente, segundo Köppen, tendo verão quente e chuvoso, com inverno frio e seco. Na região ocorrem médias anuais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar na ordem de 1600 mm, 22,6°C e 68%, respectivamente (Uberaba, 2009), sendo que no ano de 2011 a precipitação total foi de 1.680 mm (Figura 1).

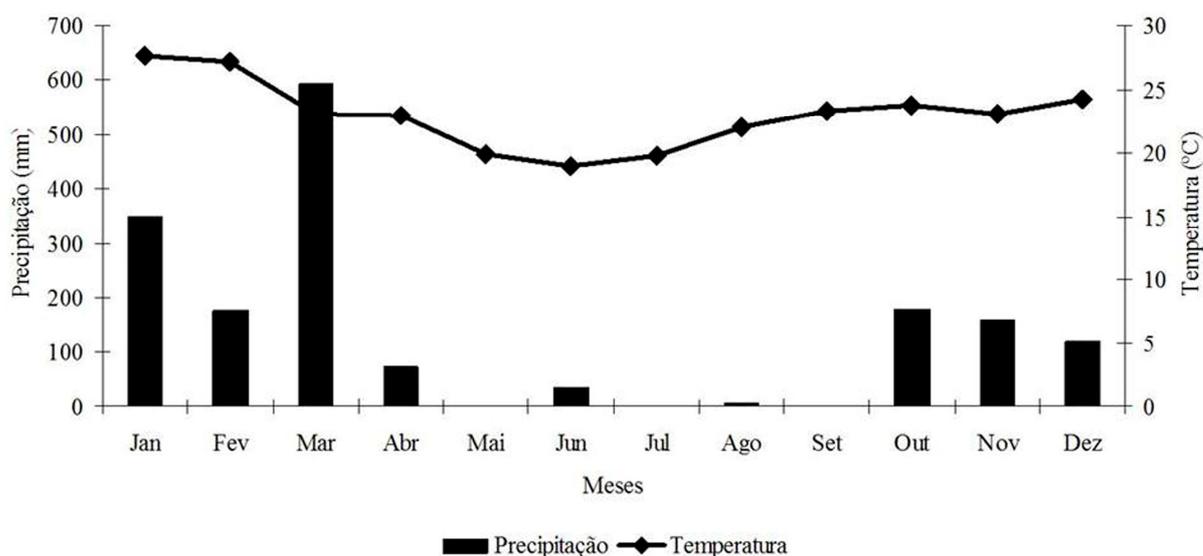


Figura 1. Precipitação (mm) e temperatura (°C) obtidas na Estação Meteorológica do IFTM campus Uberaba-MG, no ano de 2011.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 2006) de textura franco-argilo-arenosa, relevo local suave ondulado, apresentando na camada de 0,0-0,20 m, 210 g kg⁻¹ de argila, 710 g kg⁻¹ de areia e 80 g kg⁻¹ de silte, pH H₂O 5,9; 15,2 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1); 2 mmol_c dm⁻³ de K; 12 mmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 4,0 mmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 21 mmol_c dm⁻³ de H+Al e 10 g dm⁻³ de MO.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, num esquema fatorial 2x4 como primeiro fator a irrigação e o segundo fator a profundidade, sendo dois tratamentos, compostos por área com irrigação (T1) e sem irrigação (T2), com cobertura do capim Tifton 85. As profundidades avaliadas foram de 0,00 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, com quatro repetições, em parcelas de 65,1 m de comprimento por 31,7 de largura (2063,7 m²).

A irrigação da pastagem foi feita por aspersão convencional e o volume de água fornecido foi de 400 mm ano⁻¹. As características do sistema de irrigação são: vazão da bomba = 21,6 m³ h⁻¹, precipitação do aspersor de 4,2 mm h⁻¹ e lâmina bruta aplicada por posição de 26 mm. Considerou-se a chuva ocorrida na área entre irrigações consecutivas, pois quando esta foi maior ou igual lamina aplicada, a irrigação não foi realizada.

A quantidade de animais por piquete foi calculada de acordo com a produção de massa verde e seca produzida e a área do piquete, em 3 dias de ocupação, sob uma pressão de pastejo de 6%, em intervalos de 24 dias, conforme proposto por Gardner (1986).

Foram coletadas três amostras deformadas em cada parcela, com auxílio de enxadão, nas camadas de 0,00 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m. Os torrões foram secos ao ar e desmanchados manualmente, a seguir foi analisada a estabilidade dos agregados pelo método descrito por Kemper e Chepil (1965), que consiste em pesar duplicatas de 50g de solo secas ao ar constituídas de agregados de diâmetro entre 9,51 a 4,76 mm, os quais foram umedecidos por capilaridade durante 12 horas. A seguir, transferiram-se as amostras para um jogo de peneiras de 4,00; 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,13mm de malha, agitando-se em água, com oscilação vertical, durante 15 minutos. Os conteúdos de cada peneira foram transferidos para recipientes metálicos previamente pesados e submetidos à secagem por 24 horas em estufa a 105°C. A partir dos valores de massa dos agregados foram calculados o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) e avaliou-se a distribuição dos agregados por classes de diâmetro.

A densidade do solo (Ds) foi determinada em amostras com estrutura não deformada pelo método do anel volumétrico, que foram coletadas em anéis de 48 mm de diâmetro por 53 mm de altura, com o trado de Uhland, nas profundidades de 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, conforme Blake e Hartge (1986), sendo as amostras secas a 105°C por 24 horas.

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi determinada com o uso de penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar, com ângulo de ponteira cônica de 30° (Stolf, 1991). Em cada parcela realizou-se três determinações da RP. As subparcelas (profundidades) foram compostas pelas profundidades de 0,00-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m. Os dados de campo foram obtidos em números de impactos (dm⁻¹), tendo sido transformados em kgf cm⁻² por meio da equação $R \text{ (kgf cm}^{-2}\text{)} = 5,6 + 6,98 N$ (Sene et al., 1985). A seguir, estes valores foram multiplicados pela constante 0,098 para transformação em unidades MPa (Arshad et al., 1996).

A distribuição de poros por tamanho (macro e microporosidade) foi determinada em amostras com estrutura não deformada, previamente saturadas por 24 horas, utilizando uma unidade de sucção a 0,60 m de altura de coluna de água. A macroporosidade foi calculada pela diferença entre o volume total de poros e a microporosidade (Embrapa, 1997).

Para avaliação do teor de umidade do solo, foram realizadas coletas nos mesmos dias e profundidades avaliadas, sendo tomadas duas amostras por parcela e homogeneizadas, para obtenção do peso úmido e peso seco. Estas foram acondicionadas em latas de alumínio, pesadas e colocadas para secar em estufas de circulação forçada de ar a 105 °C por 24 horas. Com estes dados calculou-se a umidade volumétrica do solo (Embrapa, 1997).

A condutividade hidráulica do solo saturado foi avaliada através da metodologia do permeâmetro de carga constante, onde mantêm uma coluna de água com volume constante sobre a superfície do solo do anel, com o auxílio de um pisset, medindo-se o volume de água que passava pelo solo do anel em intervalo de tempos regulares.

Os resultados encontrados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados através dos testes de Lilliefors e Cochran e Bartlett, respectivamente. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância com auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2008), aplicando-se o teste F para significância e as médias comparadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação da estabilidade dos agregados do solo observou-se que para as áreas com e sem irrigação que a maior porcentagem dos agregados ficou retida na peneira de 2,0 mm de malha (Tabela 1). Isto confirma o efeito da estruturação que ocorreu no solo ao longo do tempo e indica que o sistema radicular da Poácea utilizada está favorecendo a formação de novos agregados e de maior estabilidade, por ser mais denso e melhor distribuído nestas camadas, o que favorece a ligação entre as partículas minerais do solo e os agregados, auxiliando na sua estabilização. Coutinho et al. (2010) destacam que a maior massa de agregados na peneira de 2,00 mm pode ter decorrido da ação do maior volume de raízes proporcionado pelas Poáceas e hifas de fungos que estão associadas, que beneficiam a formação de agregados de maior tamanho e maior estabilidade.

Entretanto, quando comparam-se as profundidades dentro do mesmo tratamento, observa-se que a estabilização é maior significativamente ($p < 0,05$) nas camadas superficiais (0,00-0,05 m) nas áreas com e sem irrigação. Entre os tratamentos, as diferenças significativas aparecem somente na profundidade de 0,05-0,10 m, apresentando valores menores na área sem irrigação. Estes índices listados na tabela 1 evidenciam que a maior umidade do solo proporcionada pela irrigação influenciaram significativamente ($p < 0,05$) a agregação do solo somente nas profundidades de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, onde ocorre maior desenvolvimento radicular do capim Tifton.

Tabela 1. Distribuição das classes do diâmetro dos agregados nas áreas com e sem irrigação, quarenta meses após a implantação da pastagem rotacionada, em Uberaba-MG.

Profundidades m	Classes de diâmetro dos agregados					
	2,00	1,00	0,50	0,25	0,106	< 0,106
	%.....					
	Com irrigação					
0,00 - 0,05	9,86 a A	1,13 a A	1,26 a A	1,42 a A	1,41 a A	1,36 a A
0,05 - 0,10	9,68 a A	1,60 b A	1,49 a A	1,72 a A	1,66 a A	1,28 a A
0,10 - 0,20	9,00 b A	2,31 c A	2,52 b A	2,42 b A	2,08 b A	1,47 a A
0,20 - 0,40	9,15 b A	2,28 c A	2,22 b A	2,43 b A	2,11 b A	1,36 a A
	Sem irrigação					
0,00 - 0,05	9,83 a A	1,28 a A	1,29 a A	1,50 a A	1,41 a A	1,26 a A
0,05 - 0,10	9,13 b B	2,18 b B	2,29 b B	2,33 b B	2,03 b A	1,41 a A
0,10 - 0,20	9,21 b A	2,29 b A	2,20 b A	2,17 b A	1,85 b A	1,23 a A
0,20 - 0,40	9,20 b A	2,26 b A	2,15 b A	2,26 b A	1,97 b A	1,32 a A
F	6,98 *	16,26 *	10,00 *	8,24 *	8,01 *	1,38 ^{ns}
CV (%)	3,81	18,59	22,08	19,69	15,57	13,41

^{ns} Não significativo e * Significativo (Tukey, $p < 0,05$). Médias seguidas de letra minúscula na coluna comparam profundidades no tratamento e maiúscula na linha comparam os tratamentos. Os dados foram transformados através da fórmula: $(x+1)^{0,5}$ para atender os critérios de normalidade e homogeneidade para realização da análise estatística.

Salton et al. (2008) observaram que os sistemas de manejo do solo com rotação de lavoura e pastagem (*Urochloa brizantha*) em sistema de semeadura direta favoreceram a formação de agregados estáveis de maior tamanho, em relação a sistemas apenas com lavouras. Justificaram que nestas áreas com maior uniformidade de umidade ocorre melhor desenvolvimento do sistema radicular das culturas, criando um ambiente mais favorável à agregação do solo. Por outro lado, Alvarenga et al. (1986) afirmam que as pastagens perenes apresentam grande efeito rizosférico sobre a agregação, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, que favorecem as ligações dos pontos de contato entre as partículas minerais e os agregados.

Na tabela 2 pode-se observar que ocorreram diferenças significativas nos valores de DMP e DMG na profundidade de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m quando comparados as outras profundidades (0,10-0,20 e 0,20-0,40 m) e que os menores valores foram observados na área sem irrigação. Estes valores de DMP e DMG nas camadas superficiais (até 0,10 m) evidenciam a maior estabilização dos agregados que está ocorrendo na área, que podem ser justificados pelo melhor desenvolvimento radicular da Poácea, devido ao aumento da umidade do solo proporcionada pela irrigação, que influenciam positivamente a agregação do solo, pois atuam na aproximação das partículas minerais devido à pressão exercida durante seu crescimento no espaço poroso do solo e na liberação de exsudados orgânicos.

Tabela 2. Diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) nas áreas com e sem irrigação na área de pastagem, em Uberaba-MG.

Profundidades m	DMP		DMG	
	%		Com irrigação	Sem irrigação
0,00 - 0,05	4,82 a A	4,81 a A	4,46 a A	4,47 a A
0,05 - 0,10	4,69 a AB	4,24 b AB	4,17 a A	3,38 b B
0,10 - 0,20	4,14 a B	4,32 a B	3,22 a B	3,59 a AB
0,20 - 0,40	4,25 a B	4,30 a B	3,34 a B	3,50 a AB
F	7,14 *		7,88 *	
CV (%)	6,32		13,3	

* Significativo ($p < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha comparam tratamentos e maiúscula na coluna comparam as profundidades, diferem entre si (Tukey, $p < 0,05$).

Conte et al. (2011) observaram que o DMP dos agregados estáveis em água foi maior nas áreas sob pastejo devido ao pisoteio animal e que a agregação do solo aumentou nas áreas pastejadas, independentemente da intensidade de pastejo, quando comparado às áreas não pastejadas. Destaca ainda que este o aumento no DMP é comumente observado em solos utilizados em sistemas de manejo que promovem grande adição de biomassa, o que aumenta o teor de carbono do solo, com a presença de espécies que tenham sistema radicular abundante, principalmente de Poáceas, já que a formação e a estabilidade dos macroagregados estão ligadas ao crescimento das raízes e à dinâmica da matéria orgânica do solo.

Loss et al. (2010) destacam que em áreas onde ocorre integração lavoura pecuária, nas profundidades de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m são observado maiores valores de carbono frações húmicas da matéria orgânica do solo, que favorecem a formação dos agregados do solo, culminando em agregados de maior tamanho e, conseqüentemente, maiores valores de DMP e DMG, sendo que isto ocorre principalmente nas camadas mais superficiais do solo.

Analisando a tabela 3, constatou-se que nos resultados obtidos para resistência mecânica do solo a penetração (RP) ocorreram diferenças significativas entre as áreas com e sem irrigação nas profundidades de 0,00-0,10 m que apresentaram valores de 4,98 e 5,87 MPa e de e 0,20-0,30 m com 4,46 e 3,37 MPa, respectivamente. Quando avaliou-se as profundidades dentro do mesmo tratamento, observou-se que a área sem irrigação apresentou os maiores valores de RP nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, enquanto que na área com irrigação o maior valor de RP ocorreu na camada de 0,10-0,20 m.

Com relação a densidade do solo (Ds) não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos e nem entre as profundidades, entretanto para os valores de umidade volumétrica (Uv), os maiores valores foram verificados sempre na área irrigada (Tabela 3).

A densidade do solo (Ds) pode ser um indicador de alteração na qualidade do solo, pois seu aumento interfere no crescimento radicular, na redução da aeração, aumento na resistência mecânica do solo à penetração (RP) e provoca alterações na dinâmica da água no solo (Klein et al., 1998), entretanto neste estudo não influenciou a RP, pois não foi constatada diferença entre os tratamentos, porém os maiores valores ocorreram nas camadas superficiais. Estes valores ainda encontram-se abaixo do valor de $1,60 \text{ kg dm}^{-3}$, estabelecido por Silva e Rosolem (2001) como crítico para o desenvolvimento das culturas.

Tabela 3. Resistência a penetração (RP), densidade do solo (Ds) e Umidade volumétrica (Uv) avaliada no Latossolo Vermelho distrófico, quarenta meses após a implantação da pastagem com capim Tifton irrigado e sem irrigação, Uberaba-MG.

Profundidades	Tratamentos					
	Com irrigação			Sem irrigação		
	RP	Ds	Uv	RP	Ds	Uv
M	MPa	kg dm ⁻³	cm ³ cm ⁻³	MPa	kg dm ⁻³	cm ³ cm ⁻³
0,00-0,10	4,98 a B	1,55 a A	0,12 a A	5,87 b A	1,47 a A	0,10 b B
0,10-0,20	5,44 a A	1,51 a A	0,12 a A	5,64 a A	1,43 a A	0,10 b B
0,20-0,30	4,46 a B	1,52 a A	0,13 a A	3,37 b B	1,43 a A	0,11 b AB
0,30-0,40	3,09 a C	1,48 a A	0,14 a A	2,51 a B	1,45 a A	0,12 b A
F	5,83 *	9,20 *	8,90 *	5,83 *	9,20 *	8,90 *
CV (%)	15,52	4,48	11,12	15,52	4,48	11,12

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha comparam tratamentos e maiúscula na coluna comparam as profundidades, diferem entre si (Tukey, $p < 0,05$).

Neste estudo a RP foi elevada, a Ds manteve-se constante em ambas as áreas e a umidade foi maior na área irrigada. Este comportamento comprova que o efeito do pisoteio animal sobre o solo está causando alterações na compactação do solo destas áreas, aumentando a RP nas camadas superficiais e que estas alterações são influenciadas pela umidade do solo, pois a RP foi maior nas áreas com menor umidade.

Alguns estudos evidenciaram que o pisoteio animal causa alterações na camada superficial do solo e que estas são diretamente influenciadas pela umidade do solo. Lanzasova et al. (2007) avaliando pastagem composta de aveia preta e azevém, observaram que a alta taxa de lotação de animais em curto espaço de tempo causou a compactação na camada superficial do solo. Vizzotto et al. (2000) destacaram que o pisoteio animal ocasiona aumento da Ds e redução da porosidade total nos primeiros 0,05 m da superfície do solo. Costa et al. (2012) em seu estudo observaram valores de RP entre 2,9 e 7,0 MPa, associou os maiores valores ao menor conteúdo de água no solo durante o período de coleta das amostras e os menores valores a maior produção de raízes da Poácea utilizada. Conte et al. (2011) ao fazerem uma análise conjunta das variáveis Ds, porosidade, agregados e RP concluíram que o pisoteio animal afetou estes atributos do solo, principalmente na camada até 0,10m.

Avaliando esta mesma área experimental dezesseis meses após a implantação da pastagem, Torres et al. (2012) observaram valores para RP de 2,71 MPa e 4,46 MPa na camada de 0,00-0,10 m e de 2,75 MPa e 3,90 MPa na camada 0,10-0,20 m para as áreas em T1 e T2, onde ocorreram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos avaliados, contudo a Uv nestas áreas eram superiores, quando comparadas ao estudo atual.

Neste estudo os valores obtidos para RP, são considerados muito alto, de acordo com classificação proposta por Arshad et al. (1996), sendo que estes já estão causando efeitos restritivos ao crescimento das plantas, como destacado por alguns autores e amplamente aceito no meio científico, que afirmam que a resistência à penetração limitante ao crescimento radicular é de 2,0 MPa (Silva et al., 2008) (Figura 2). Contudo, Richart et al. (2005) destacam que o valor restritivo pode variar entre 1,0 a 5,0 MPa para os diferentes tipos de solo.

Os valores obtidos para resistência a penetração (RP), densidade do solo (Ds) e umidade volumétrica (Uv) apresentaram correlações entre si, sendo positiva e não significativa ($p < 0,05$) para Ds x RP em ambos tratamentos. As correlações foram negativas e significativas entre Ds x Uv e Uv x RP na área irrigada e Uv x RP na área não irrigada

(Tabela 4). Estas correlações evidenciam que neste estudo o aumento da RP está diretamente relacionado a umidade do solo, que não houve qualquer influencia significativa da Ds sobre os valores observados.

Araújo et al. (2004) obtiveram resultados semelhantes em seu estudo e que a resistência a penetração aumentou à medida que a umidade do solo diminuiu. Entretanto, Martins et al., (2010) observaram que a RP se manteve constante mesmo com a diminuição da umidade e justificou que isto se deve ao alto conteúdo de matéria orgânica observado no solo e a pequena atuação das forças de coesão entre as partículas do solo.

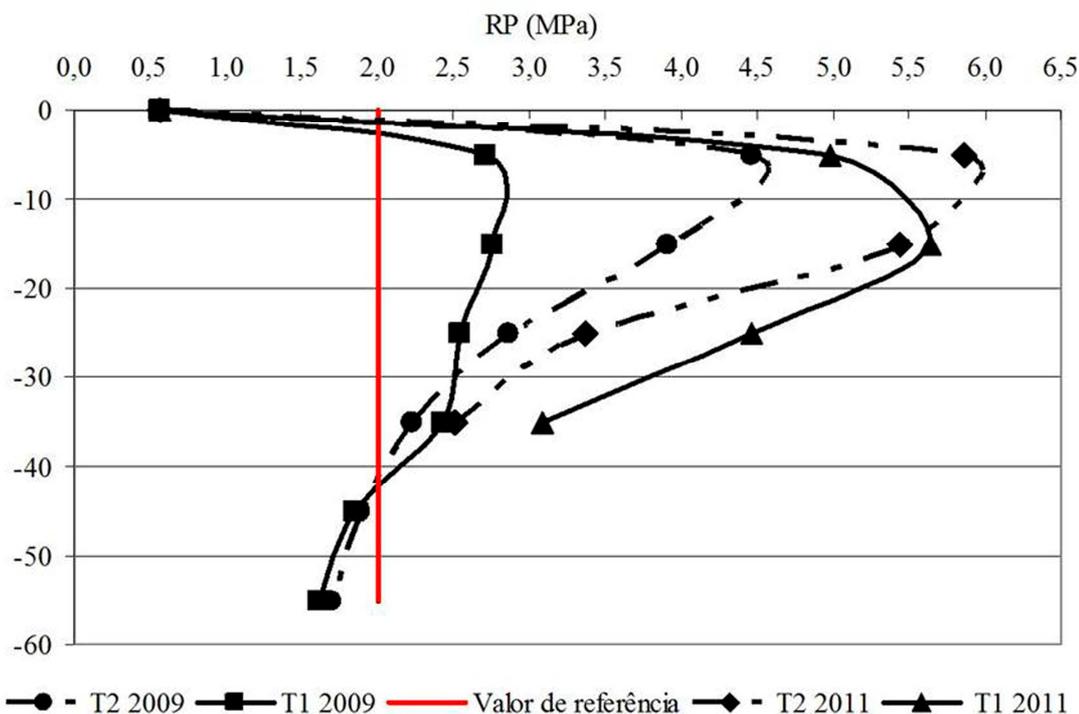


Figura 2. Resistência mecânica à penetração (RP) medida até 0,40 m de profundidade, nas áreas com (T1) e sem irrigação (T2), dezesseis (Torres et al., 2012) e quarenta meses após a implantação da pastagem com capim Tifton, na mesma área experimental, em Uberaba-MG.

Tabela 4. Correlações de Pearson entre os valores de resistência a penetração (RP), densidade do solo (Ds) e Umidade volumétrica (Uv) avaliada quarenta meses após a implantação da pastagem com capim Tifton, em Uberaba-MG.

Variável analisada	Coefficiente de correlação
Com irrigação	
Ds x Uv	- 0,78
Uv x RP	- 0,89
Ds x RP	0,43
Sem irrigação	
Ds x Uv	- 0,25
Uv x RP	- 0,95
Ds x RP	0,46

* Significativo ($p < 0,05$) (Teste t).

Torres et al. (2012) na mesma área experimental, observaram que Ds e Uv tiveram alta correlação e que os valores de RP correlacionaram negativamente com a densidade e umidade, ou seja, quanto maior foram estas duas variáveis, menor foi a RP.

Sarmento et al. (2008) relataram que o pisoteio animal sobre o solo é potencializado quando o pastejo é realizado em solos com umidade elevada e com baixa cobertura vegetal, o que evidencia a necessidade de manutenção da cobertura vegetal adequada sobre os solos, afim de mitigar esse efeito do pisoteio sobre a qualidade física dos solos.

Analisando a Tabela 5 pode-se destacar que ocorreram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os valores de macroporosidade nas profundidades de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m em ambos tratamentos, entretanto os maiores valores ocorreram nas profundidades de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m na área sem irrigação. Estes valores não estão sendo influenciados pela Ds, pois não houve diferenças entre profundidades e tratamentos, contudo, devem estar relacionados a melhor estruturação do solo na camada superficial (00-0,05 e 0,05-0,10 m), que pode ser comprovada pela maior porcentagem dos agregados retidos na peneira de 2,0 mm (Tabela 1) e maiores valores de DMP e DMG (Tabela 2) nestas mesmas profundidades.

Tabela 5. Macroporosidade, microporosidade e porosidade total nas áreas com e sem irrigação, após quarenta meses da implantação da pastagem rotacionada, em Uberaba-MG.

Profundidades m	Macroporosidade		Microporosidade		Porosidade Total	
%.....					
	Com irrigação	Sem irrigação	Com irrigação	Sem irrigação	Com irrigação	Sem irrigação
0,00 - 0,05	7,95 a A	11,26 b A	35,50 a A	32,23 b A	43,46 a A	43,49 a A
0,05 - 0,10	11,42 a B	16,46 b B	34,15 a A	27,10 b B	45,57 a A	43,54 a A
0,10 - 0,20	14,53 a C	16,49 a B	31,87 a B	27,38 b B	46,41 a A	43,87 a A
0,20 - 0,40	15,70 a C	15,50 a B	31,10 a B	28,69 b B	46,79 a A	44,19 a A
F	15,89 *		3,22 *		7,30 *	
CV (%)	14,58		4,18		4,17	

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; médias seguidas de mesma letra minúscula na linha comparam tratamentos e maiúscula na coluna comparam as profundidades, diferem entre si (Tukey, $p < 0,05$).

Na profundidade de 0,00-0,05 m o valor obtido para macroporosidade está abaixo de 10%, o que segundo Sousa et al. (1994) não permite uma adequada aeração do solo, proporcionando bom desenvolvimento de plantas. Com relação a microporosidade as diferenças foram significativas em todas as profundidades avaliadas entre as áreas, contudo, os maiores valores ocorreram na profundidade de 0,00-0,5m.

Relatos da literatura apontam que o aumento da Ds é acompanhado da redução da macroporosidade e aumento da microporosidade, fato este não observado neste estudo, pois a Ds manteve-se constante. A transformação de macroporos em microporos, como sugerido pelos dados obtidos, é frequentemente observada com o incremento de atividades com máquinas e implementos agrícolas sobre o solo (Carvalho et al., 2004), contudo, neste estudo parece ser decorrente da melhor estruturação do solo. Os efeitos do aumento de microporos embora possam incrementar o aporte de água retida, frequentemente reduzem drasticamente a percolação de água no perfil do solo, afetando a sua disponibilidade e a alimentação de lençóis freáticos.

Com relação a condutividade hidráulica, observou-se que só ocorreram diferenças significativas quando foram comparadas as profundidades dentro da área com irrigação, com a ocorrência dos menores valores na camada mais superficial (0,00-0,05 e 0,05-0,10 m) (Tabela 6), que podem ser explicados pela diminuição dos valores de macroporosidade nesta mesma camada (Tabela 5), que é o principal responsável pelo fluxo de água no solo, pois a condutividade hidráulica é um parâmetro que expressa a facilidade com que a água se movimenta ao longo do perfil de solo, com isso o aumento da microporosidade constatado (Tabela 5) proporciona maior retenção de água no solo.

Tabela 6. Condutividade hidráulica do solo saturado das áreas com e sem irrigação na área de pastagem com capim Tifton, após quarenta meses da implantação da pastagem rotacionada, no ano de 2011, em Uberaba-MG.

Profundidades m	Condutividade hidráulica	
	Com irrigação	Sem irrigação
	mm h ⁻¹	
0,0-0,10	10,35 a A	50,99 a A
0,10-0,20	67,86 a AB	132,27 a A
0,20-0,30	106,58 a B	134,96 a A
0,30-0,40	129,21 a B	139,94 a A
F		6,50 *
CV (%)		33,02

* Significativo (Tukey, $p < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha comparam tratamentos e maiúscula na coluna comparam profundidades. Todos os foram transformados utilizando a fórmula: $(x+1)^{0,5}$ para atender os critérios de normalidade e homogeneidade para realização da análise estatística.

6 CONCLUSÕES

1. A manutenção da pastagem com e sem irrigação está proporcionando maior estabilização dos agregados na área na camada superficial do solo (até 0,10 m); 2. Os maiores valores de resistência a penetração foram observados nas profundidades até 0,10 m e apresentaram elevada correlação com a umidade do solo; 3. Não ocorreram diferenças entre tratamentos e profundidades para a densidade do solo; 4. A melhora na estrutura com maior agregação do solo na camada superficial (0,00-0,05 e 0,05-0,10 m) causaram a diminuição nos valores de macroporosidade e condutividade hidráulica, com aumento da microporosidade.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ALVARENGA, R.C.; FERNANDES, B.; SILVA, T.C.A.; RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.10, n.2, p.273- 277, 1986.
- ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.2, p.337-345, 2004.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. **Soil Science Society of America**, p.123-141, 1996.

BALBINO, L.C.; CORDEIRO, L.A.M.; SILVA, V.P.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G.B.; ALVARENGA, R.C.; KICHEL, A.N.; FONTANELI, R.S.; SANTOS, H.P.; FRANCHINI, J.C.; GALERANI, P.R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.10-21, 2011.

BETTERIDGE, K.; MACKAY, A.D.; SHEPHERD, T.G.; BARKER, D.J.; BUDDING, P.J.; DEVANTIER, B.P.; COSTALL, D.A. 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.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. ed., Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America**, 1986, p.363-375.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1153-1155, 2004.

CONTE, O.; FLORES, J.P.C.; CASSOL, L.C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; LEVIEN, R.; WESP, C.L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura/pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1301-1309, 2011.

COSTA, M.A.T.; TORMENA, C.A.; LUGÃO, S.M.B.; FIDALSKI, J.; NASCIMENTO, W.G.; MEDEIROS, F.M. Resistência do solo à penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.3, p.993-1004, 2012.

COUTINHO, F.S.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; RODRIGUES JÚNIOR, D.J.; TORRES, J.L.R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto, Uberaba, MG. **Comunicata Scientiae**, Piauí, v.1, n.2, p.100 - 105, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: Um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, n.2, p.36-41, 2008.

FERREIRA, R.R.M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V.M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.31, n.4, p. 913-932, 2010.

GARDNER, A. L. **Técnicas de pesquisa em pastagem e aplicabilidade de resultados em sistemas de produção**. Brasília. EMBRAPA – CNPGL, 1986, 197p.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C.A. ed. *Methods of Soils Analysis*. Madison, **American Society of Agronomy**, 1965, pt.1, cap. 39, p. 499 – 510 (Agronomy, 9).

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L.; SILVA, A.P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e conteúdo de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.18, n.2, p.45-54, 1998.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.5, p.1131-1140, 2007.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V.P.B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, n.3, p.415-423, 2004.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.4, p.913-922, 2010.

MARTINS, C. A. S.; PANDOLFI, F.; PASSOS, R. R.; REIS, E. F.; CABRAL, M. B. G. Avaliação da compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.26, n.1, p. 79-83, 2010.

MÜLLER, M.S.; FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D.; GARCÍA Y GARCÍA, A.; LÓPEZ OVEJERO, R.F. Produtividade do *Panicum maximum* cv. Mombaça irrigado, sob pastejo rotacionado. **Scientia Agrícola**, Piracicaba-SP, v.59, n.3, p.427-433, 2002.

RASSINI, J.B. Período de estacionalidade de produção de pastagens irrigadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.8, p.821-825, 2004.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.R.; LLANILLO, R.F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: Causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrícolas**, Londrina, v.26, n.3, p.321-344, 2005.

SALTON, J.C; MIELNICZUK, J; BAYER, C; BOENI, M; CONCEIÇÃO, P.C; FABRICIO, 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.

- SARMENTO, P.; RODRIGUES, L.R.A.; CRUZ, M.C.P.; LUGÃO, S.M.B.; CAMPOS, F.P.; CENTURION, J.F.; FERREIRA, M.E. Atributos químicos e físicos de um Argissolo cultivado com *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio, sob lotação rotacionada e adubado com nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p.183-193, 2008.
- SENE, M.; VEPRASKAS, M.J.; NADERMAN, G.C.; DENTON, H.P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Society Soil Science Society of America Journal**, v.49, n.2, p.422-427, 1985.
- SILVA, R.H.; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, n.2, p.253-260, 2001.
- SILVA, G.J.; VALADÃO JÚNIOR, D.D.; BIANCHINI, A.; AZEVEDO, E.C.; MAIA, J.C.S. Variação de atributos físico-hídricos em Latossolo Vermelho-amarelo do cerrado Mato-grossense sob diferentes formas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.5, p.2135-2143, 2008.
- SOUSA, R.O, PAULETTO, E.A, GOMES, A.S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMERICA LATINA E PARA O CARIBE e REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 1994, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA/CNPAP, 1994, v.1 296p., p.151-168.
- 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, n.2, p.299-235, 1991.
- TORRES, J.L.R.; RODRIGUES JUNIOR, D.J.; SENE, G.A.; JAIME, D.G.; VIEIRA, D.M.S. Resistência à penetração em área de pastagem de capim Tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.1, p.232-239, 2012.
- UBERABA EM DADOS, Prefeitura Municipal de Uberaba. Edição 2009, 23 p., ano base 2009. Disponível: <http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/acervo/desenvolvimento/arquivos/uberaba_em_dados/Edicao_2009/Capitulo01.pdf>. Acesso em 21 11 2011.
- VIZZOTTO, V.R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.6, p.965-969, 2000.