

## ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO SOB PASTAGENS RECUPERADA E DEGRADADA<sup>1</sup>

José Aloísio Alves Moreira<sup>2</sup>, Itamar Pereira de Oliveira<sup>2</sup>,  
Cleber Moraes Guimarães<sup>2</sup> e Luís Fernando Stone<sup>2</sup>

### ABSTRACT

CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES  
OF A DYSTROPHIC OXISOL UNDER  
RECLAIMED AND DEGRADED PASTURES

The objective of this study was to compare some physical and chemical attributes of a dystrophic Oxisol under reclaimed and degraded pastures. Two areas of savannah soils around Goiânia, Goiás State, Brazil, were selected, one under reclaimed and other under degraded pasture. The degraded area was being submitted to an extensive grazing regime, and the reclaimed area, to intensive crop cultivation for two years. Higher values of pH, Ca<sup>2+</sup>+ Mg<sup>2+</sup>, P, K<sup>+</sup>, Zn, organic matter, macroporosity, total porosity, linear root density, average root diameter, and lower values of bulk density and soil resistance to penetration were observed in the soil under reclaimed pasture.

KEY WORDS: *Brachiaria brizantha*, Brazilian savannah, soil fertility, soil physics, degraded soil, root system.

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi comparar alguns atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho distrófico, em cerrado sob pastagens recuperada e degradada. Para tanto, foram selecionadas na região de Goiânia-GO, duas áreas, uma constituída de solo com pastagem recuperada e outra de solo com pastagem degradada. A área com pastagem degradada encontrava-se em regime extensivo de pastagem e a área recuperada, com dois anos de uso em cultivo intensivo. Na área com pastagem recuperada foram observados maiores valores de pH, Ca<sup>2+</sup>+ Mg<sup>2+</sup>, P, K<sup>+</sup>, Zn, matéria orgânica, macroporosidade, porosidade total, densidade linear de raízes, diâmetro médio radicular, e menores valores de densidade do solo e de resistência à penetração.

PALAVRAS-CHAVE: *Brachiaria brizantha*, cerrado, fertilidade do solo, física do solo, solo degradado, sistema radicular.

### INTRODUÇÃO

Os sistemas agrícolas que associam a monocultura contínua ao uso de equipamentos inadequados de preparo do solo resultam em rápida degradação do solo. O mesmo acontece quando se faz uso de pastagens constituídas de forrageiras exigentes em fertilidade, num regime extensivo de pastejo. Para aproveitamento dessas áreas, como alternativa de implantação de novas pastagens, têm-se utilizado forrageiras mais rústicas, como as do gênero *Brachiaria*. Entretanto, com o tempo, nem mesmo estas forrageiras têm conseguido bom desenvolvimento nesses solos, pois o consumo da massa verde pelo animal, a falta de reposição dos nutrientes,

a acidificação do solo, a perda da matéria orgânica e a compactação do solo diminuem a eficiência das pastagens. Com isso, as pragas, plantas daninhas e, principalmente, a erosão hídrica, nos seus diversos estágios, passam a configurar a paisagem dessas pastagens. Dependendo do estágio de degradação das pastagens e, conseqüentemente, do índice de cobertura do solo, têm sido relatadas perdas do solo ao redor de 17 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Santos 1993).

A partir desse cenário, torna-se evidente a necessidade de recuperação das áreas de pastagens degradadas, tanto do ponto de vista químico como físico. Como alternativa aos sistemas tradicionais de recuperação de pastagens e de melhoria do perfil do solo, a Embrapa Arroz e Feijão vem preconizando a

1. Trabalho recebido em dez./2004 e aceito para publicação em ago./2005 (registro nº 611).

2. Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, CEP 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO. E-mails: jaloisio@cnpaf.embrapa.br; itamar@cnpaf.embrapa.br; cleber@cnpaf.embrapa.br; stone@cnpaf.embrapa.br

utilização do Sistema Barreirão (Oliveira *et al.* 1996) e do Sistema Santa Fé (Kluthcouski *et al.* 2000). Esses sistemas consistem em técnicas de plantio de grãos em consórcio com a pastagem. A descompactação do solo, aliada à aplicação de calcário e fertilizante, permite maior e mais rápido desenvolvimento da pastagem, aumentando a cobertura da área e reduzindo as perdas de solo a limites inferiores aos admissíveis pela FAO (1967), que é de 2,0 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

O objetivo deste trabalho foi avaliar alguns atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob pastagens recuperada e degradada.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na região de Goiânia, GO (16°49'43''S de latitude, 49°15'14''W de longitude e altitude de 749 m), no ano de 2001. Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima Aw, tropical de savana, megatérmico. A temperatura média anual do ar é de 22,5°C. O regime pluvial é bem definido, ou seja, período chuvoso de outubro a abril e período seco de maio a setembro. A precipitação pluvial média anual é de 1.461 mm, e a média anual de umidade relativa do ar é de 71%.

Foram estudadas duas áreas de pastagens, uma denominada área recuperada, com pastagem produtiva de *Brachiaria brizantha*, e outra denominada área degradada, também com pastagem de *B. brizantha*, porém, já degradada. As áreas apresentavam solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa, sendo uma com 468 g kg<sup>-1</sup> de argila, 100 g kg<sup>-1</sup> de silte e 432 g kg<sup>-1</sup> de areia (área recuperada) e a outra com 457 g kg<sup>-1</sup> de argila, 102 g kg<sup>-1</sup> de silte e 441 g kg<sup>-1</sup> de areia (área degradada). Informações como pH e teores de macro e micronutrientes, antes da recuperação, embora relevantes em estudos dessa natureza, não foram levantados. Esses dados, contudo, podem ser inferidos pelos teores encontrados na área degradada.

Na área recuperada, o perfil do solo apresentava-se química e fisicamente recuperado. Para a recuperação física foi feita uma gradagem sobre o pasto degradado, utilizando-se grade Rome para a pré-incorporação da pastagem. Uma semana após essa pré-incorporação foi feita uma aração a uma profundidade em torno de 30 cm e uma gradagem de nivelamento para realização do plantio. Para a recuperação química foram aplicadas, antes da primeira gradagem, 3,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico

sobre o pasto degradado. No plantio, foram aplicados 300 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 4-30-16 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de FTE BR12. Após a recuperação física e química, a pastagem apresentava área foliar e sistema radicular bem desenvolvidos. A produção de massa vegetal decorrente da área foliar desenvolvida permitiu adequada cobertura da superfície do solo. As determinações químicas e físicas do solo foram obtidas um ano após a recuperação, época em que se observaram as mudanças no aspecto físico das pastagens.

Na outra área, a pastagem apresentava-se com grau acentuado de degradação causada por deficiências de nutrientes e compactação do solo. As deficiências químicas e físicas condicionaram uma restrição ao desenvolvimento da pastagem que se apresentava com área foliar reduzida, baixa produção de biomassa e sistema radicular pouco desenvolvido, implicando em baixo índice de cobertura vegetal do solo.

Foram abertas, em cada área, duas trincheiras ao acaso, de onde se coletaram oito amostras de solo, com estrutura deformada e indeformada, para as determinações químicas e físicas. As amostras para a caracterização química dos solos foram obtidas por sub-amostragem.

O pH foi determinado na solução solo:água na relação 1:2,5. A matéria orgânica foi determinada pelo processo de Walkley & Black através da oxidação com dicromato de potássio 0,4 mol L<sup>-1</sup> e titulação com sulfato ferroso (Black 1965). O fósforo e o potássio foram extraídos em solução de Mehlich (HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup>). Os teores de cálcio + magnésio e o alumínio foram obtidos por extração em KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> (Embrapa 1997). A leitura do zinco foi realizada na solução de Mehlich-1. O alumínio, o fósforo e o potássio foram determinados utilizando-se, respectivamente, titulador, colorímetro e fotômetro de chama. Para a determinação dos teores de cálcio + magnésio e de zinco utilizou-se espectrofotômetro de absorção atômica.

A densidade do solo foi determinada utilizando-se amostras de solo com estrutura indeformada, coletadas em anéis volumétricos de 90,5 cm<sup>3</sup> (Embrapa 1997). A porosidade total ou volume total de poros foi calculada mediante a expressão:

$$\text{Porosidade total (\% vol.)} = 100 (1 - D_s/D_p)$$

em que: D<sub>p</sub> é a densidade de partículas do solo e D<sub>s</sub> é a densidade do solo, ambas expressas em Mg m<sup>-3</sup>.

Considerou-se como microporosidade do solo o espaço poroso ocupado por água após uma sucção

exercida por uma coluna de água de 60 cm de altura. Para essa determinação foi utilizada uma mesa de tensão. A macroporosidade é obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (Embrapa 1997).

A resistência do solo à penetração foi determinada, nas paredes laterais das trincheiras, mediante o uso de um penetrômetro de bolso que fornece uma leitura (L) em mm. Os dados obtidos foram transformados em resistência do solo pela seguinte expressão (adaptada para expressar o resultado em kPa):

$$RP \text{ (kPa)} = A / B^2$$

em que:  $A = 100 \times L$ ;  $B = 0,7952 (40 - L)$

A distribuição do sistema radicular no solo foi avaliada nas amostras coletadas em camadas de solo de 20 cm em 20 cm, da superfície até 100 cm de profundidade, com o uso de trados com amostradores tipo haste, de 7,5 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento. As amostras, formadas por três subamostras coletadas ao acaso ao lado das trincheiras, após devidamente homogeneizadas, foram divididas em duas porções: uma descartada, visando adequar o volume da amostra à condução da metodologia de avaliação, e outra dispersa em baldes com água. Pelo processo repetido de suspensão/decantação, foram separadas as raízes da amostra de solo. As raízes foram, então, recuperadas do sobrenadante em peneiras de 0,25 mm, e as impurezas retiradas com o auxílio de pinças.

Após esse processo, as raízes foram avaliadas quantitativamente pelo método de Newman (1966), para determinar o comprimento total de raízes na amostra de solo. Dividindo-se o comprimento radicular, em cm, pelo volume das amostras (três subamostras com 50% de descarte), em  $\text{cm}^3$ , encontrou-se a densidade linear radicular em cm de raiz por  $\text{cm}^3$  de solo (Proffitt *et al.* 1985, Taylor 1986). O diâmetro médio radicular foi determinado pela relação entre a massa da matéria seca radicular, em mg, pelo comprimento das raízes, em cm, conforme Oussible *et al.* (1992).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pôde-se observar que a área recuperada apresentou maiores valores de pH, fósforo (P) e zinco (Zn) do que a área degradada (Figura 1). Esses resultados já eram esperados, uma vez que ao ser recuperada essa área recebeu duas toneladas por

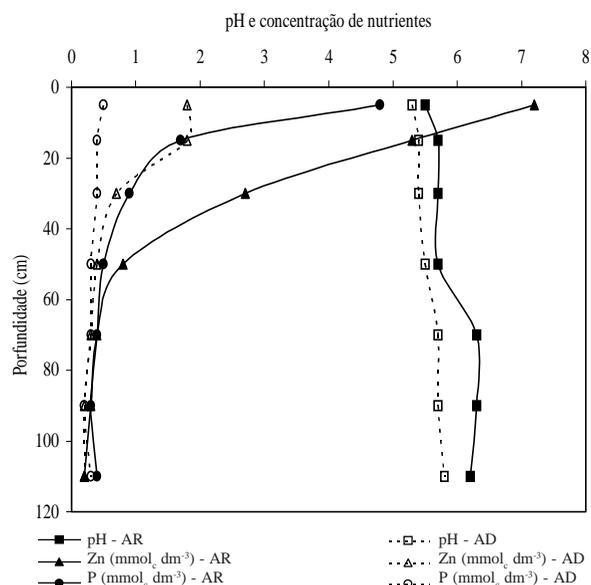


Figura 1. Valores de pH (em água 1:2,5) e de concentração de P e Zn no solo, em função da profundidade, nas áreas de pastagem recuperada (AR) e degradada (AD).

hectare de calcário dolomítico e  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Na área recuperada, o desenvolvimento de grande volume de massa e os resíduos da forrageira, não consumidos por animais, protegeram a superfície do solo de pisoteio animal. Ao mesmo tempo, o volume de raízes produzidas e mortas permite a formação de uma rede de canais no solo que facilita o seu arejamento, criando condições de oxidação e ausência de compactação, bem como a elevação ou a manutenção do pH em níveis mais elevados que o da área degradada. Solos arejados apresentam maior fluxo de  $\text{O}_2$  e baixa acumulação de  $\text{CO}_2$  produzido pelo sistema radicular. Em solo compactado, o  $\text{CO}_2$  reage com a água formando os carbonatos e os bicarbonatos ácidos. Oliveira *et al.* (1996) relatam a acidez do solo e as condições fisiológicas que o acompanham resultam da falta de cátions metálicos permutáveis, que na sua ausência deixam livres, ânions como  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{NO}_3^-$  e outros formadores de ácidos, resultando em diminuição do pH.

A maior concentração de Zn no solo recuperado é o resultado da aplicação, quando da recuperação da pastagem, de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de sulfato de zinco e  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de FTE BR 12, que além de outros nutrientes, contém 9% de Zn (Oliveira *et al.* 1998). Mesmo que o Zn seja mais solúvel e esteja mais disponível em baixo pH, a sua presença na solução do solo, em solo pobre em mineral secundário contendo zinco, como os solos de cerrados, está diretamente relacionada à quantidade de zinco

aplicada. Oliveira *et al.* (1998) relatam que deficiências de zinco em forrageiras desenvolvidas em pastagens recuperadas constituíram as primeiras indicações de que maiores cuidados com a nutrição mineral das pastagens deveriam ser consideradas, principalmente quando se utilizam as práticas da calagem e de fosfatagem.

As maiores concentrações de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  na área recuperada, em relação à área degradada (Figura 2), após dois anos de exploração intensiva com gado bovino, é o resultado da aplicação de calcário dolomítico na época da recuperação da pastagem. O pasto recuperado possuía calcário em partículas sólidas de carbonatos de cálcio e de cálcio-magnésio, que recompõe esses nutrientes disponíveis como bases permutáveis adsorvidas pela matéria coloidal e como cátions dissociados na solução do solo, principalmente em associação com os íons bicarbonatos. Os teores de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  refletiram a diferença entre a solubilidade máxima de calcário na área recuperada em relação a não recuperada, visto que a reação do calcário completa-se em torno de dois anos após a sua aplicação. No solo degradado, pela ação do íons  $\text{H}^+$  gerados pelo ácido carbônico e outros ácidos, já haviam sido lixiviados os cátions  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  de reserva. Embora também sejam lixiviados  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , o cálcio foi lixiviado em maior quantidade devido à sua maior concentração no sítio dos colóides. Esse processo ocorre rapidamente nas camadas da superfície úmida dos solos. A adsorção contínua de íons  $\text{H}^+$  pelas micelas coloidais, em lugar do cálcio e

de outras bases, aumenta as características ácidas dos solos agricultáveis.

Nas duas áreas, o potássio encontrava-se em concentrações abaixo do seu nível crítico (Figura 2). Embora em concentrações insuficientes para proporcionar ótimos rendimentos, a produção da forrageira na área recuperada não apresentou problemas de crescimento, tampouco apresentava plantas deficientes em potássio como na área degradada. É possível que na área recuperada, com baixas concentrações de potássio, este nutriente estivesse na solução do solo ou na forma trocável adsorvido às superfícies coloidais, em disponibilidade suficiente para suprir as necessidades da planta.

Maiores concentrações de matéria orgânica foram observadas na área recuperada (Figura 2), em todas as profundidades estudadas. Considerando as concentrações nos primeiros 20 cm de solo,  $21 \text{ g dm}^{-3}$  na área recuperada e  $14 \text{ g dm}^{-3}$  na área degradada, observa-se que cerca de 30% da matéria orgânica do solo foi perdida pela ação do manejo animal e dos fatores climáticos. O manejo animal extensivo, em geral, não obedece o ciclo de desenvolvimento das forrageiras, prejudicando a sua produção de matéria seca que, em última instância, resulta na degradação química do solo e baixa produção de matéria orgânica. Segundo Schaefer *et al.* (2002), a degradação das pastagens ocorre com perda de matéria orgânica proporcional à sua concentração no solo, além de perdas de nutrientes como P,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .

Na Figura 3 são mostradas a porosidade total e a macroporosidade nos dois perfis de solo. A avaliação dos atributos físicos mostrou que o solo recuperado apresentou maior quantidade de macroporos, a partir de 7,5 cm de profundidade, com o aumento desses ao longo do perfil (até 30 cm profundidade). Na camada de solo até 7,5 cm, os valores de macroporosidade foram semelhantes nas duas áreas, indicando que esse atributo foi sensível à ação do pisoteio na superfície, independentemente da maior quantidade de matéria orgânica produzida e da maior colonização do perfil do solo pelo sistema radicular da forrageira. A porosidade total foi menor na área degradada, até 17,5 cm de profundidade. Com isso, é diminuída a secção do solo para o escoamento vertical de água no perfil, o que resulta em menor capacidade de infiltração de água no solo e maior exposição à erosão. Assim, a pastagem de braquiária na área recuperada teve efeito na estruturação do solo, promovendo um aumento da porosidade total do solo nessa camada. Igue (1984) e Caldeira *et al.* (1996) relataram que sistemas de

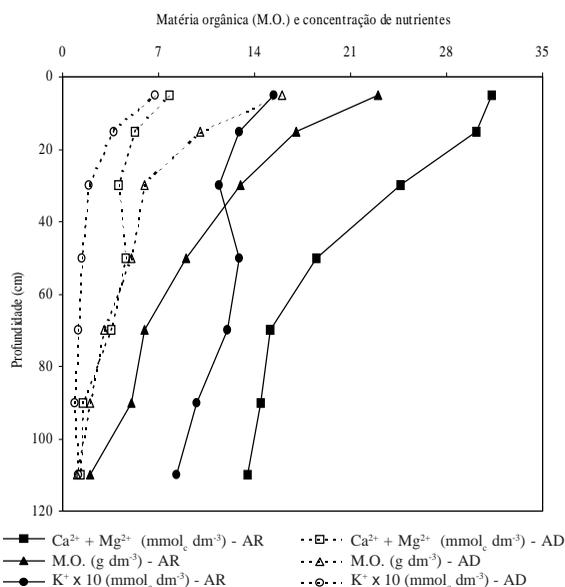


Figura 2. Concentração de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e matéria orgânica no solo (M.O.), em função da profundidade, nas áreas de pastagem recuperada (AR) e degradada (AD).

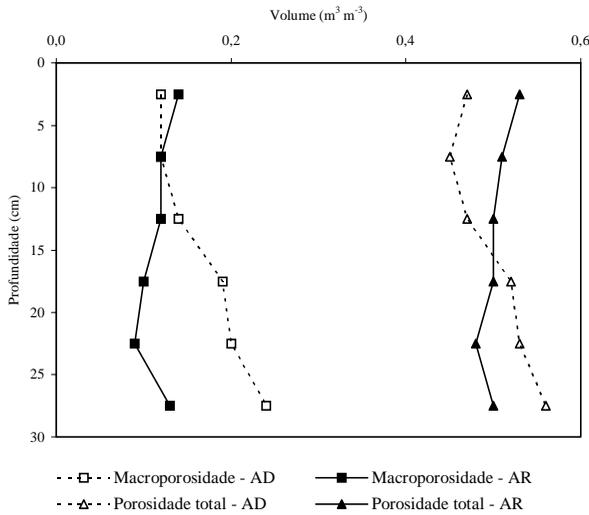


Figura 3. Macroporosidade (Mp) e porosidade total (Pt) do solo ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ), em função da profundidade, nas áreas de pastagem recuperada (AR) e degradada (AD).

cultivos envolvendo pastagens, de fato, contribuem para a formação de agregados pela ação direta do sistema radicular no perfil do solo.

A compactação é caracterizada pelo aumento da densidade do solo em função do arranjo das partículas primárias, argila, silte e areia. Quando o solo é submetido a um esforço cortante e, ou de pressão, há redução do espaço aéreo, aumentando a sua densidade. Em áreas de pastagens, a compactação do solo, indiretamente avaliada pelo aumento da sua densidade, normalmente é induzida por forças aplicadas à sua superfície, isto é, pela carga animal, seja em regime intensivo ou extensivo. Chanasyk & Naeth (1995), Azenagashe *et al.* (1997) e Muller *et al.* (2001) constataram aumento da densidade na camada superficial do solo em sistema de pastejo intensivo. O aumento da densidade do solo creditado ao tempo de pastejo também é devido à degradação da própria pastagem, visto que o processo de compactação é intensificado pela redução dos agentes de estrutura, tais como matéria orgânica, redução da atividade de alguns microrganismos e exudados de plantas. Esses agentes estão diretamente relacionados com a produção da parte aérea, da quantidade de raízes e do grau de cobertura do solo.

O valor estimado da resistência à penetração na área recuperada cresceu com a profundidade e atingiu valor máximo em torno 22,5 cm de profundidade (Figura 4). Como não houve ação do pisoteio nessa profundidade é provável que essa camada de compactação tenha origem no processo de preparo do solo, visto que essa área, antes de sua utilização como pastagem, estava destinada à

produção de grãos. No solo degradado, o maior valor de resistência à penetração, em torno de 2 kPa, ocorreu na camada entre 5 cm e 10 cm e, como ocorrido com a densidade do solo, a compactação nessa camada pode estar associada à movimentação animal na superfície do solo. Na literatura são mencionados valores de pressão aplicadas ao solo por bovinos, que variam de 2 kPa a 4,9 kPa, podendo atingir profundidades de 5 cm a 10 cm (Carvalho 1976, Willatt & Pullar 1983, Proffitt *et al.* 1993).

Em áreas degradadas sob sistema extensivo, normalmente, não se leva em consideração a capacidade de suporte do pasto que permita a manutenção de determinado número de gemas ativas para rebrotamento da forrageira, nem o período de ocupação que permita à forrageira completar o período ideal de rodízio do gado. Bertol *et al.* (2000) relatam que o excesso de carga animal ocasionado por diferentes lotações sobre as pastagens pode afetar algumas propriedades do solo, aumentar a susceptibilidade à erosão hídrica e diminuir a capacidade produtiva. Imhoff *et al.* (2000), também, relatam que a degradação da qualidade física do solo está associada com a compactação causada pelo pisoteio animal.

Em relação à densidade linear de raízes e ao diâmetro médio radicular da braquiária, na área degradada, a forrageira apresentou menor densidade de raízes (Figura 5). Isso caracteriza um perfil de solo mais compactado, haja vista a maior resistência à penetração, até 25 cm, e a maior densidade desse solo até 17,5 cm de profundidade (Figura 4). A menor densidade radicular nessa profundidade é reflexo do

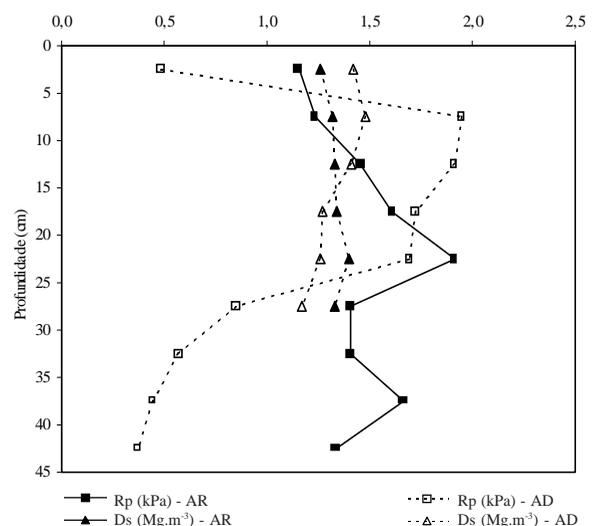


Figura 4. Densidade do solo (Ds) e sua resistência à penetração (Rp), em função da profundidade, nas áreas de pastagem recuperada (AR) e degradada (AD).

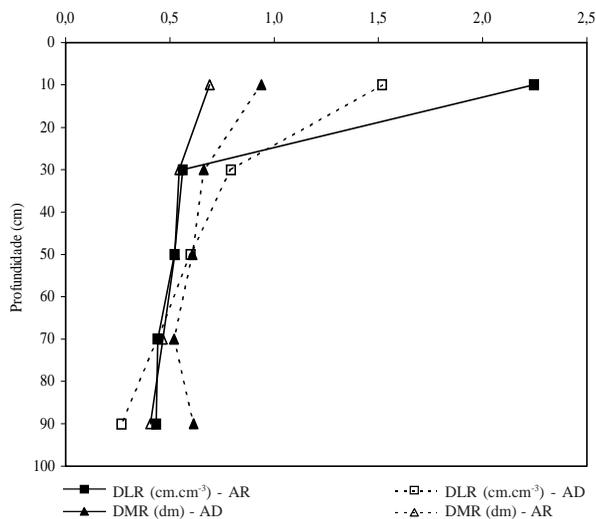


Figura 5. Densidade linear radicular (DLR) e diâmetro médio radicular (DMR) de braquiária, em função da profundidade do solo, nas áreas de pastagem recuperada (AR) e degradada (AD).

estágio de degradação em que a área se apresentava. Nesse local, além do baixo teor de matéria orgânica (Figura 2), verificava-se um grande número de plantas de braquiária, porém, quase todas secas rentes à superfície do solo. Nessas condições, as raízes não se desenvolveram suficientemente para manter a pastagem em condições ideais para o consumo do rebanho.

No solo recuperado, foram observados 53,4% das raízes na camada de 0-30 cm, e uma distribuição uniforme além dessa profundidade (Figura 5). Já no solo degradado, apenas 21,9% das raízes concentraram-se na camada 0-30 cm, e 16,5%, 12,2% e 7,4% distribuíram-se, respectivamente, nas camadas 30-50 cm, 50-70cm e 70-90 cm. Portanto, um gradiente decrescente da concentração de raízes com o aumento da profundidade do solo. O diâmetro médio radicular (DMR) também decresceu com o aumento da profundidade.

Müller *et al.* (2001) confirmaram que, em áreas degradadas, a redução da produção da pastagem é acompanhada pela diminuição do número de raízes no perfil do solo e pela concentração do sistema radicular próximo à superfície. A importância de uma vigorosa colonização do solo pelo sistema radicular das gramíneas reside, também, no fato de que as espécies dessa família têm, segundo Dechen *et al.* (1981), grande importância na reestruturação da camada arável, tornando o solo mais resistente à ação do impacto das gotas de chuva e menos propenso à erosão.

## CONCLUSÕES

1. A degradação da pastagem de braquiária resulta no aumento da densidade do solo e da sua resistência à penetração, bem como na redução da sua porosidade total.
2. A compactação do solo afeta substancialmente o desenvolvimento do sistema radicular da pastagem de braquiária.
3. Em área de pastagem recuperada, observam-se maiores valores de pH e de matéria orgânica no solo, bem como dos teores de macronutrientes e micronutrientes, em relação a área de pastagem degradada.

## REFERÊNCIAS

- Azenegashe, O. A., V. Allen & J. Fontenot. 1997. Grazing sheep and cattle together or separately: effect on soil and plants. *Agronomy Journal.*, 89: 380-386.
- Bertol, I., J. A. Almeida, E. X. Almeida & C. Kurtz. 2000. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão cv. Mott. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35 (5): 1047-1054.
- Black, C.A. 1965. *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy, Madison. (Agronomy, 9).
- Caldeira, M. V. W., A. R. V. Carvalho, V. C. P. Zago & A. G. Andrade. 1996. Caracterização das propriedades físicas de um planossolo sob pastagem. In Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, 13. Águas de Lindóia, SP. 1 CD-ROM. Resumos.
- Carvalho, S. R. 1976. Influência de dois sistemas de manejo de pastagens na compactação de uma Terra Roxa Estruturada. Tese de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, São Paulo. 89 p.
- Chanasyk, D. S. & M. A. Naeth. 1995. Grazing impacts on bulk density and soil strength in the foothills rescue grassland of Alberta, Canada. *Canadian Journal Soil Science*, 24 (2): 55-76.
- Dechen, S. C. F., F. Lombardi Neto & O. M. Castro. 1981. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em um Latossolo Roxo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 5: 133-137.
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). 1997. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro. 212 p.

- FAO. Food and Agriculture Organization. 1967. La erosión del suelo por el agua: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Roma, Italy. 207 p.
- Igue, K. 1984. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. p. 232-267. In K. Igue. Adubação verde no Brasil. Fundação Cargill, Campinas.
- Imhoff, S., A. P. Silva & C. A. Tormena. 2000. Aplicação da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 15 (7): 1493-1500.
- Kluthcouski, J., T. Cobucci, H. Aidar, L. P. Yokoyama, I. P. de Oliveira, J. L. da S. Costa, J. G. da Silva, L. Vilela, A. de O. Barcellos & C. de U. Magnabosco. 2000. Sistema Santa Fé – tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás. 28 p. (Circular Técnica, 38).
- Muller, M. M. L., M. F. Guimarães, T. Desjardins & P. F. S. Martins. 2001. Degradação das pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento das raízes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36 (11): 1409-1418.
- Newman, E.L. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. *Journal of Applied Ecology*, 3: 139-145.
- Oliveira, I. P., J. Kluthcouski, L. C. Balbino, L. H. Buso, L. P. Yokoyama, C. de U. Magnabosco & M. T. V. Scarpati. 1998. Sistema Barreirão: emprego de micronutrientes na recuperação de pastagens. Embrapa-CNPAP, Goiânia. 36 p. (Circular Técnica 30).
- Oliveira, I. P., J. Kluthcouski, L. P. Yokoyama, L. G. Dutra, T. de A. Portes, A. E. da Silva, B. da S. Pinheiro, E. Ferreira, E. da M. de Castro. 1996. Sistema Barreirão: renovação/recuperação de pastagens degradadas em consórcio com culturas anuais. Embrapa-CNPAP, Goiânia. 90 p. (Documentos 64).
- Oussible, M., R. K. Crookston & W. E. Larson. 1992. Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield of wheat. *Agronomy Journal*, 84: 34-38.
- Proffitt, A. P. B., S. Bendotti, M. R. Howell & J. Eastham. 1993. The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a Red-Brow earth. *Australian Journal. Soil Research*, 44 (2): 317-331.
- Proffitt, A. P. B., P. B. Berliner & D. M. Oosterhuis. 1985. A comparative study of root distribution and water extraction efficiency by wheat grown under high and low-frequency irrigation. *Agronomy Journal*, 77 (5): 655-662.
- Santos, D. 1993. Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo em Cambissolo distrófico (epiálico) dos Campos da Mantiqueira (MG). Tese de Mestrado. Escola Superior de Agricultura de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 99 p.
- Schaefer, C. E. R., D. D. Silva, K. W. N. Paiva, F. F. Pruski, M. R. Albuquerque Filho & M. A. Albuquerque. 2002. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37 (5): 669-678.
- Taylor, H. M. 1986. Methods of studying root systems in the field. *Hortscience*, 21 (4): 952-956.
- Willatt, S. T. & D. M. Pullar. 1983. Changes in soil physical properties under grazed pastures. *Australian Journal. Soil Research*, 22 (4): 343-348.