

# ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO DE CERRADO SOB DUAS ROTAÇÕES DE CULTURA<sup>1</sup>

Graziella Carvalho Fonseca<sup>2</sup>, Marco Aurélio Carbone Carneiro<sup>3</sup>, Adriana Rodolfo da Costa<sup>2</sup>, Geraldo César de Oliveira<sup>4</sup>, Luiz Carlos Balbino<sup>5</sup>

## ABSTRACT

PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL ATTRIBUTES OF DYSTROPHIC RED OXISOL UNDER TWO CROP ROTATIONS

The objective of this study was to evaluate the effect of two crop rotations on soil physical, chemical and biological attributes of a dystrophic red Oxisol. A randomized block design with split plot arrangement was used, with six replications. The treatments were two crop rotations, common bean/soybean + *Brachiaria* grass/common bean (F/S+B/F) and common bean/maize + *Brachiaria* grass/common bean (F/M+B/F), and a savannah area ("cerradão") as reference, with soil samples at depths of 0-2.5 cm and 15-17.5 cm. The samples were collected in September 2004, at the common bean flowering stage. The attributes evaluated were: bulk density, total porosity, macroporosity, microporosity, average geometric diameter, average weighed diameter, aggregation greater than 2.0 mm, organic carbon, total nitrogen, microbial biomass carbon, and microbial quotient. The transition from "cerradão" to agricultural production, independent of crop rotation, increased soil bulk density and reduced total pore volume, macroporosity, organic carbon, total nitrogen, and microbial biomass carbon. The rotation F/S+B/F reduced soil bulk density and macroporosity, and increasing microporosity, average geometric diameter, average weighed diameter, aggregation greater than 2.0 mm, organic carbon, and total nitrogen, as related to the F/M+B/F rotation.

KEY WORDS: soil density, microbial biomass.

## RESUMO

Este estudo teve por objetivo avaliar o efeito de duas rotações de culturas sobre atributos físicos, químicos e biológicos, em um Latossolo vermelho distrófico. Um delineamento experimental em blocos ao acaso com parcelas subdivididas foi utilizado, com seis repetições. Os tratamentos consistiram de duas rotações de cultura, feijão/soja + braquiária/feijão (F/S+B/F) e feijão/milho + braquiária/feijão (F/M+B/F), e uma área de cerradão como referência, nas parcelas, e duas profundidades de amostragem de solo 0-2,5 cm e 15-17,5 cm, nas subparcelas. As amostras foram coletadas em setembro de 2004, por ocasião do florescimento da cultura do feijoeiro. Os atributos avaliados foram: densidade do solo, volume total de poros, macroporosidade, microporosidade, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado e agregados maiores que 2,0 mm, carbono orgânico, nitrogênio total, carbono da biomassa microbiana e quociente microbiano. A passagem do solo sob cerradão para sistemas de produção agrícola, independentemente da rotação adotada, ocasionou aumento da densidade do solo e redução do volume total de poros, macroporosidade, carbono orgânico, nitrogênio total e carbono da biomassa microbiana. O sistema de rotação F/S+B/F reduziu a densidade do solo e macroporosidade, e aumentou a microporosidade, diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, agregados maiores que 2,0 mm, carbono orgânico e nitrogênio total, em relação à rotação F/M+B/F.

PALAVRAS-CHAVE: densidade do solo, biomassa microbiana.

## INTRODUÇÃO

A transformação de ambientes naturais, como o Cerrado em sistemas agrícolas tem provocado à degradação de extensas áreas, em consequência de sua exploração inadequada. Além disso, tem havido

uma pressão social e econômica para a produção de alimentos nos últimos anos, que tem provocado a inclusão de áreas sob solos de baixa aptidão agrícola. Atualmente a exploração do bioma Cerrado, que sempre se baseou no cultivo intensivo e monocultor de grãos ou na criação de gado, está aos poucos

1. Trabalho recebido em ago./2005 e aceito para publicação em jan./2007 (registro nº 654).

2. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, UFG, Caixa Postal 131, CEP 74001-970 Goiânia, GO.

E-mails: [gcarvalho Fonseca@yahoo.com.br](mailto:gcarvalho Fonseca@yahoo.com.br); [adriana\\_rodolfo@yahoo.com.br](mailto:adriana_rodolfo@yahoo.com.br); [geraldooliveira@ufla.br](mailto:geraldooliveira@ufla.br); [balbino@cnpaf.embrapa.br](mailto:balbino@cnpaf.embrapa.br)

3. UFG, Campus de Jataí, Laboratório de Solos, Caixa Postal 03, CEP 75800-000 Jataí, GO. E-mail: [mcarbone@jatai.ufg.br](mailto:mcarbone@jatai.ufg.br)

4. Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo, Caixa Postal 3037, CEP 37 200-000 Lavras, MG.

5. Embrapa Transferência de Tecnologia / Embrapa Sede. Parque Estação Biológica s/n. CEP 70770-901 Brasília, DF.

abandonando esse modelo produtivo frágil e não competitivo, para adotar formas de produção sustentável. A adoção de sistemas de manejo do solo considerados conservacionistas, como o plantio direto, têm se apresentado como alternativa viável para assegurar a sustentabilidade do uso agrícola do solo, principalmente nos Latossolos (Silva *et al.* 2000).

A área de plantio direto no Brasil é de aproximadamente 20 milhões de hectares, dos quais 25% estão localizados na região do Cerrado (Cervi 2003). Este sistema é constituído pelos seguintes componentes: culturas de cobertura, formação de palhada, rotação de culturas e não mobilização do solo (Ribeiro *et al.* 2001). Assim, o requisito principal para a implantação do sistema é a formação de palha sob o solo, embora tal formação e a manutenção da cobertura morta em regiões tropicais têm tido impedimentos para o seu estabelecimento pleno, principalmente no Cerrado. Isso devido às altas temperaturas e umidade da região, que proporcionam a rápida decomposição dos resíduos vegetais (Kluthcouski 1998). Em estudo realizado no sudoeste goiano, Assis *et al.* (2003) observaram essa elevada taxa de decomposição, sendo que em torno de setenta dias após o corte já ocorria à decomposição de metade da fitomassa de sorgo adicionada ao solo.

Neste contexto, há dificuldades na escolha de espécies consideradas grandes produtoras de fitomassa e que, ao mesmo tempo, proporcionem retorno econômico para o agricultor. Uma alternativa que tem despertado interesse e que possibilita a obtenção de sistemas de produção mais sustentável é a integração lavoura-pecuária (ILP), associada ao sistema de plantio direto, como, por exemplo, o sistema Santa Fé. Esse sistema permite diversificar as atividades econômicas na propriedade rural com o objetivo de aumentar a eficiência da produção de grãos e carne, e preservar o meio ambiente (Salton *et al.* 2001). Segundo esse autor, neste sistema o plantio consiste no cultivo consorciado de culturas anuais com espécies forrageiras, principalmente as braquiárias, em áreas agrícolas com solo parcial ou totalmente corrigido.

A *Brachiaria* sp. é a principal pastagem cultivada na região Centro-Oeste, devido à sua adaptabilidade às condições edafoclimáticas da região, sua grande produção de fitomassa, relativa facilidade de eliminação e por não ser hospedeira de patógenos das principais culturas (Kluthcouski *et al.* 2003).

Embora já haja pesquisas sobre os efeitos do plantio direto nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, para o sul do país (Sá 1999, Anghinoni & Salet 2000, Lopes *et al.* 2004), poucos são os estudos realizados em solos do bioma de Cerrado. Por isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar alterações em atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo vermelho distrófico de Cerrado, submetido a dois tipos de rotação de culturas, no sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área experimental da Fazenda Capivara, Embrapa Arroz e Feijão, município de Santo Antônio de Goiás, GO (16°28'00"S de latitude, 49°17'00"W de longitude e altitude de cerca de 823 m). O clima, conforme classificação de Köppen é Aw, tropical de savana e megatérmico. A temperatura média anual é de 23°C, com média mínima anual de 14°C em julho e máxima de 31°C no mês de setembro. O solo da área foi caracterizado como Latossolo vermelho distrófico e os seus atributos químicos e físicos encontram-se na Tabela 1.

A área experimental vinha sendo submetida à irrigação sob sistema pivô central, entre os anos 2000 e 2004. Nesse período foram realizados oito plantios, que constituíram nos tratamentos experimentais, com as culturas de arroz, milho e soja, sempre consorciadas com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, e feijão solteiro no outono-inverno, sob a palhada da braquiária dessecada, em sistema plantio direto (Tabela 2). Além disso, avaliou-se uma área de refe-

Tabela 1. Atributos químicos e físicos de um Latossolo vermelho submetido a dois sistemas de rotação<sup>1</sup> e sem interferência antrópica - Cerradão (Santo Antônio de Goiás, 2000/2001).

Atributos	F/S+BF		F/M+BF		Cerradão	
	0-2,5 cm	15-17,5 cm	0-2,5 cm	15-17,5 cm	0-2,5 cm	15-17,5 cm
pH(CaCl <sub>2</sub> )	5,9	4,7	5,7	4,8	4,2	4,4
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,0	0,1	0,0	0,1	0,5	0,4
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,8	3,5	2,0	3,5	5,8	5,0
P (mg dm <sup>-3</sup> )	9,7	5,8	12,4	7,9	1,2	0,1
K (mg dm <sup>-3</sup> )	128,0	46,0	62,0	52,0	56,0	21,0
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,3	1,2	2,6	0,9	0,3	0,3
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,9	0,5	1,5	0,5	0,2	0,1
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,8	6,0	6,2	5,6	7,0	5,7
V(%)	80,4	36,8	71,7	24,8	7,0	9,2
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	620,0	610,0	600,0	610,0	580,0	570,0
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	50,0	70,0	70,0	90,0	50,0	60,0
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	330,0	320,0	330,0	300,0	370,0	370,0
Dp (g cm <sup>-3</sup> )	2,7	2,7	2,7	2,8	2,6	2,6

<sup>1</sup>- F/S+B/F: feijão/soja + braquiária/feijão; F/M+B/F: feijão/milho + braquiária/feijão.

Tabela 2. Seqüência dos sistemas de rotação de culturas, durante quatro anos consecutivos, incluindo safra (S) e entressafra (E), com os oito cultivos realizados no campo experimental (Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, 2005).

Sistemas <sup>1</sup>	2000/01 (S)	2001 (E)	2001/02 (S)	2002 (E)	2002/03 (S)	2003 (E)	2003/04 (S)	2004 (E)
F/S+B/F	Arroz + B	Feijão	Milho + B	Feijão	Soja + B	Feijão	Soja + B	Feijão
F/M+B/F	Milho + B	Feijão	Soja + B	Feijão	Soja + B	Feijão	Milho + B	Feijão

<sup>1</sup> - F/S+B/F: feijão/soja + braquiária/feijão; F/M+B/F: feijão/milho + braquiária/feijão; Arroz + B: arroz + braquiária; Soja + B: soja + braquiária; Milho + B: milho + braquiária.

rência com vegetação típica de cerrado (Cerradão), onde não houve interferência antrópica.

O experimento constou de delineamento em blocos completos casualizados em parcelas subdivididas, sendo as parcelas constituídas pelas rotações de cultura mais a área de cerradão e as subparcelas por duas profundidades de coleta de amostra de solo, 0-2,5 cm e 15-17,5 cm, com seis repetições. A dimensão de cada parcela foi de 6 m de largura e 10 m de comprimento, sendo que a área útil foi de 32 m<sup>2</sup>.

Os plantios e adubações foram realizados sempre nos meses de novembro, na safra, e julho, na entressafra, sob irrigação, utilizando-se semeadora/adubadora. Empregou-se o sistema de disco de corte e haste para o rompimento do solo, juntamente com o sistema de distribuição do adubo e duplo disco desencontrado/defasado no sistema de distribuição de sementes. Durante esse período foi realizada uma calagem, em outubro de 2002, com 2,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico aplicado na superfície do solo, sem incorporação.

A amostragem de solo foi realizada no mês de setembro 2004, por ocasião do florescimento do feijoeiro, ou seja, quando mais de 50% da cultura encontrava-se em florescimento. As amostras foram coletadas em trincheiras de 0,80 m x 0,80 m, localizadas no centro de cada parcela, transversalmente à linha de plantio. Foram coletadas seis amostras indeformadas e deformadas nas duas profundidades estudadas, sendo que para as amostras indeformadas utilizou-se cilindros de 6,3 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura; com a altura da camada amostrada igual a altura do cilindro. Após a coleta as amostras foram acondicionadas em filme plástico e armazenadas para a preservação de suas características.

Para avaliação da estabilidade de agregados foram coletados torrões de solo na camada superficial, em cada parcela, sendo estes colocados em sacos

plásticos e transportados cuidadosamente ao laboratório para armazenamento. Estas amostras foram submetidas a análises físicas (textura do solo, densidade de partícula, densidade de solo, volume total de poros, macroporosidade, microporosidade e estabilidade de agregados), químicas (pH, Al, H+Al, P, K, Ca, Mg, C e N) e biológicas (carbono da biomassa microbiana).

A densidade de partículas (Dp) foi determinada utilizando-se amostras de solo deformadas, pelo método do balão volumétrico com álcool etílico como líquido penetrante (Embrapa 1997). A textura do solo foi determinada pelo método da pipeta (Day 1965). Após a dispersão da amostra com NaOH (1 mol L<sup>-1</sup>) e agitação rápida (6.000 rpm) por quinze minutos, a fração areia foi quantificada através do peneiramento e a argila por pipetagem, após a sedimentação do silte. A fração silte foi determinada pela diferença entre a quantidade de solo e a quantidade de argila mais areia obtida na amostra.

Para a determinação do volume total de poros (VTP), densidade do solo (Ds), macroporos (MAP) e microporos (MIP), inicialmente, as amostras indeformadas foram saturadas em bandejas plásticas com água destilada até a altura aproximada de três quartos do cilindro, por um período de 24 horas. Em seguida, foram submetidas à tensão de 6,0 kPa na mesa de tensão, para o cálculo da microporosidade. A densidade do solo (Ds) foi determinada pelo método do anel volumétrico (Blake & Hartge 1986). O volume total de poros foi calculado pela expressão:  $VTP = 100 * (1 - Ds/Dp)$ ; e a macroporosidade, obtida pela diferença entre VTP e MIP (Embrapa 1997).

Os torrões coletados em cada parcela foram utilizados para determinação da estabilidade de agregados em água, pelo método descrito por Kemper & Rosenau (1986), com modificações sugeridas por Guedes (1997). No laboratório, as amostras foram espalhadas e destorroadas suavemente sobre uma bandeja forrada com papel. O peneiramento das amostras secas ao ar foi realizado manualmente, utilizando-se peneiras de 8 mm e 4 mm com fundo. Posteriormente, foram usados 25 g dos agregados retidos na peneira de 4 mm, para peneiramento em água. As amostras foram, então, acondicionadas em um conjunto de peneiras de malhas correspondentes a 2,0 mm; 1,0 mm; 0,5 mm; 0,25 mm e 0,105 mm, para separação das classes de tamanhos dos agregados, tendo sido agitadas a quarenta oscilações verticais por minuto, num período de quinze minutos.

O diâmetro médio geométrico (DMG) foi calculado pela expressão:

$$\text{DMG} = \exp[\Sigma(W_i \times \text{Ln}X_m)/\Sigma W_i]$$

em que:

$W_i$ : é a massa dos agregados de uma classe "i" de tamanho (g);

$\text{Ln}X_m$ : é o logaritmo natural do diâmetro médio de cada classe de tamanho; e

$\Sigma W_i$ : é a massa total da amostra (g).

O diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados foi determinado pela expressão:

$$\text{DMP} = \Sigma N_i D_i$$

em que:

$N_i$ : porcentagem dos agregados retidos em uma determinada peneira (%); e

$D_i$ : diâmetro médio de uma determinada faixa de tamanho do agregado (mm).

A porcentagem de agregados maiores que 2,0 mm ( $AG > 2,0$  mm) foi calculada a partir da expressão:

$$AG > 2,0 \text{ mm} = 100[(W > 2)/\Sigma W_i]$$

em que:

$W > 2$ : massa (g) de agregados com diâmetro maior que 2,0 mm; e

$\Sigma W_i$ : massa total da amostra (g).

Para a determinação dos atributos químicos, as amostras deformadas foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2,0 mm e, em seguida, analisadas. Determinaram-se pH ( $\text{CaCl}_2$ ); Ca, Mg e Al trocáveis, extraídos com KCl e analisados por titulometria (Embrapa 1997); P e K extraídos pelo método Mehlich I e analisados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente (Vettori 1969). A quantificação de carbono orgânico (CO) foi obtida por oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio, em meio sulfúrico e titulado com sulfato ferroso amoniacal, e a de nitrogênio total (NT), por meio de microdestilação – técnica Kjeldahl por destilação a vapor (Embrapa 1997).

Para a determinação do carbono da biomassa microbiana (BM-C) foram utilizadas amostras deformadas que, após sua coleta no campo, foram armazenadas em caixas de isopor e conduzidas imediatamente ao laboratório. Foram, então, peneiradas retirando-se raízes e pequenos organismos e acondicionando-as em sacos plásticos para armazenagem em refrigerador a 4°C. O método utilizado foi o da extração-fumigação, que tem como princípio a quebra das células microbianas na amostra de solo,

após a fumigação do solo com clorofórmio destilado (Vance *et al.* 1987). O quociente microbiano foi obtido, nas amostras superficiais, pela relação entre BM-C e CO (Brookes 1995).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias dos tratamentos, comparadas entre si pelo teste Tukey. Foram também estimadas correlações de Pearson entre os atributos avaliados. Os testes estatísticos foram aplicados a 5% de probabilidade, com o apoio computacional do programa estatístico Saeg (Euclides 1983).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo ( $D_s$ ) variou significativamente entre os fatores estudados, observando-se que, independentemente da rotação de plantas utilizadas, as amostras superficiais do solo apresentaram menores densidades do solo em relação às subsuperficiais (Tabela 3). Isso contradiz os resultados obtidos por Tormena *et al.* (1998), que encontraram valores de  $D_s$  maiores na superfície, em sistema plantio direto, o que eles associaram à acomodação do solo juntamente com o tráfego de máquinas no sistema.

As rotações F/S+B/F e F/M+B/F proporcionaram aumento da  $D_s$  em torno de 27% e 33%, respectivamente, em relação ao solo sob cerradão. Observou-se, ainda, uma tendência de diminuição de  $D_s$  na rotação F/S+B/F, que pode ser devido aos sistemas radiculares da soja e da braquiária que, em associação, promovem melhorias na fertilidade do solo. As raízes de plantas soja em associação com bactérias fixadoras de nitrogênio aumentam a concentração deste nutriente no solo e o sistema radicular da braquiária introduz carbono via rizo-

Tabela 3. Densidade do solo ( $D_s$ ) e volume total de poros (VTP) em função das profundidades de coleta das amostras de solo, em áreas sob dois dos sistemas de rotação de cultura e área controle, sem interferência antrópica (Cerradão), em Latossolo vermelho distrófico.

Sistemas <sup>1</sup>	$D_s$ ( $\text{g m}^{-3}$ )		VTP ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	
	0-2,5 cm	15-17,5 cm	0-2,5 cm	15-17,5 cm
F/M+B/F	1,26 bA <sup>2</sup>	1,37 aA	0,54 aB	0,50 bB
F/S+B/F	1,23 bB	1,34 aB	0,54 aB	0,51 bB
Cerradão	0,97 bC	1,02 aC	0,62 aA	0,60 bA

<sup>1</sup> F/M+B/F: feijão/milho + braquiária/feijão; F/S+B/F: feijão/soja + braquiária/feijão.

<sup>2</sup> Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna (sistemas) e minúscula na linha (profundidades), não diferem entre si para cada variável, pelo teste Tukey a 5% de significância.

deposição e morte das raízes. Isso é corroborado pelas correlações negativas ( $r = -0,59^{**}$ ) entre Ds e carbono orgânico, e entre Ds e nitrogênio total (Tabela 4). Este fato demonstra que determinadas rotações podem contribuir para a redução da densidade do solo, em razão do aumento da concentração de carbono e nitrogênio orgânico no solo.

A utilização agrícola do solo provoca aumentos na sua densidade, em relação ao solo sem interferência antrópica, conforme os resultados obtidos por Balbino (2001). Isso, primeiramente, pela redução do teor de matéria orgânica e, em consequência, pela baixa capacidade de suporte de carga do solo. No entanto, valores críticos de densidade do solo são relacionados a condições restritivas ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, à infiltração e transporte de água, bem como às trocas gasosas entre o solo e a atmosfera. Segundo Arshad *et al.* (1996), para solos argilosos esse valor situa-se em torno de  $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ , o que é superior ao encontrado no presente estudo.

Para o volume total de poros (VTP) foram observados maiores valores nas amostras coletadas superficialmente em relação às subsuperficiais (Tabela 3). Nas duas rotações e profundidades estudadas, verificou-se redução de 13% e 18%, nas amostras superficiais e subsuperficiais, respectivamente, em relação ao solo de Cerradão. Isso corrobora outros estudos que demonstraram reduções acentuadas em VTP provocadas pela atividade

agrícola (Tormena *et al.* 1998, Pena *et al.* 1996). Em estudos conduzidos em Latossolo vermelho de textura média de cerrado, sob diferentes sistemas de manejo em plantio direto, Souza *et al.* (2005) e Albuquerque *et al.* (1995) observaram valores próximos ao encontrado na presente pesquisa.

Com relação à macroporosidade (MAP) e microporosidade (MIP), verificou-se efeito significativo ( $p < 0,05$ ) somente em relação aos sistemas de manejo. Comparando-se os dois sistemas de rotação, observou-se redução da macroporosidade e aumento da microporosidade na área sob feijão/milho + braquiária/feijão em relação à rotação feijão/soja + braquiária/feijão (Figura 1). A redução da macroporosidade do solo tem efeito na taxa de infiltração de água e na resistência mecânica à penetração de raízes. No entanto, nas áreas em estudo os valores da macroporosidade foram superiores ao valor crítico adotado por Tormena *et al.* (1998), que está em torno de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Sobre a microporosidade, sabe-se que reduções acentuadas prejudicam principalmente o armazenamento de água no solo e o seu aumento pode indicar compactação do solo, quando associado à diminuição da macroporosidade. De certa forma, este foi o resultado obtido no presente estudo, demonstrado pela correlação negativa entre MIP e MAP (Tabela 4).

O diâmetro médio geométrico (DMG), o diâmetro médio ponderado (DMP) e a porcentagem de agregados maiores que 2,0 mm ( $AG > 2 \text{ mm}$ ) apresentaram efeitos significativos para os dois fatores,

Tabela 4. Estimativas de correlação de Pearson entre os diferentes atributos do solo, na profundidade 0-2,5 cm, nas áreas sob rotações de cultura e na área não antropizada.

Variáveis <sup>1</sup>	Ds	VTP	AG>2mm	DMG	DMP	CO	NT	BM-C	MAP	MIP
Ds	1,00 <sup>*</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VTP	-0,97 <sup>**</sup>	1,00 <sup>**</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
AG>2mm	-0,09 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>**</sup>	-	-	-	-	-	-	-
DMG	-0,32 <sup>**</sup>	0,31 <sup>**</sup>	0,63 <sup>**</sup>	1,00 <sup>**</sup>	-	-	-	-	-	-
DMP	-0,33 <sup>**</sup>	0,31 <sup>**</sup>	0,52 <sup>**</sup>	0,96 <sup>**</sup>	1,00 <sup>**</sup>	-	-	-	-	-
CO	-0,59 <sup>**</sup>	0,55 <sup>**</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>**</sup>	0,50 <sup>**</sup>	1,00 <sup>**</sup>	-	-	-	-
NT	-0,59 <sup>**</sup>	0,54 <sup>**</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>**</sup>	0,44 <sup>**</sup>	0,76 <sup>**</sup>	1,00 <sup>**</sup>	-	-	-
BM-C	0,27 <sup>*</sup>	-0,23 <sup>**</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>**</sup>	0,28 <sup>**</sup>	0,23 <sup>*</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>**</sup>	-	-
MAP	-0,51 <sup>**</sup>	0,49 <sup>**</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>**</sup>	1,00 <sup>**</sup>	-
MIP	-0,18 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>*</sup>	0,21 <sup>*</sup>	0,25 <sup>**</sup>	0,18 <sup>*</sup>	0,36 <sup>**</sup>	0,37 <sup>**</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	-0,74 <sup>**</sup>	1,00 <sup>**</sup>

<sup>1</sup> Ds: densidade do solo; VTP: volume total de poros; AG>2mm: agregados maiores que 2 mm; DMG: diâmetro médio geométrico; CO: carbono orgânico; NT: nitrogênio total; BM-C: carbono da biomassa microbiana; MAP: macroporosidade e MIP: microporosidade.

\* e \*\*: valores significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, e ns: valores não significativos a 5% de probabilidade.

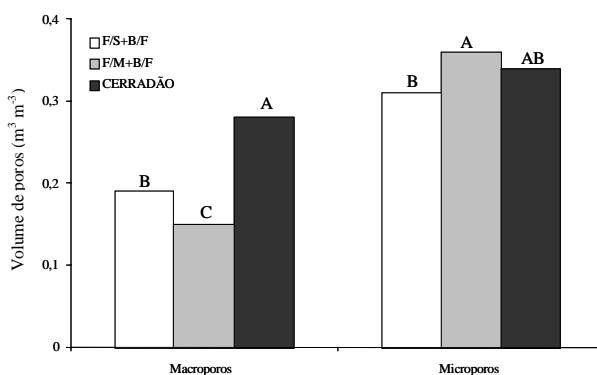


Figura 1. Macroporosidade e microporosidade em áreas sob dois sistemas de rotação de culturas (F/M+B/F: feijão/milho + braquiária/feijão; F/S+B/F: feijão/soja + braquiária/feijão) e área sem interferência antrópica – Cerradão (médias seguidas pela mesma letra, para cada variável, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância).

sendo observado nas áreas sob rotação, maior DMG e DMP ( $p < 0,05$ ) na superfície (0-2,5 cm) em relação à subsuperfície (15-17,5 cm), o que não ocorreu na área sob Cerradão (Tabela 5). Já para  $AG > 2,0$  mm, observou-se que somente na área sob rotação feijão/soja + braquiária/feijão houve diferença significativa entre as profundidades. Nas amostras superficiais a rotação feijão/soja + braquiária/feijão proporcionou aumentos em DMG e DMP, relativamente às outras áreas estudadas, mas esse efeito não se manifestou para  $AG > 2,0$  mm.

Esse fato pode ser atribuído à presença de uma cobertura mais densa de braquiária, observada no ato da coleta das amostras de solo, nas parcelas sob a rotação feijão/soja + braquiária/feijão, quando comparada à cobertura encontrada nas parcelas da outra rotação (feijão/milho + braquiária/feijão). Isso pode se dever ao efeito da associação gramínea/leguminosa, já descrito anteriormente. Segundo Eltz *et al.* (1989), a palhada oferece excelente proteção à superfície do solo, mantendo a umidade e principalmente a atividade microbiana, proporcionando agregados mais estáveis. Isso tem aplicações práticas importantes, por reduzir o processo erosivo do solo, diminuir o assoreamento de cursos d'água e a sua contaminação e, portanto, garantir maior conservação do solo e preservação do meio ambiente.

Em amostras subsuperficiais (15-17,5 cm), notou-se uma tendência de o solo sob Cerradão apresentar maior DMG e DMP em relação às rotações estudadas (Tabela 5). Estudos conduzidos por Oliveira *et al.* (2004), em Latossolo vermelho, cultivado sob plantio direto por vinte anos, mostraram resultados semelhantes. Os menores valores de DMG em subsuperfície foram atribuídos aos baixos teores de carbono orgânico nessa camada do solo.

Tabela 5. Diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e porcentagem de agregados maiores que 2 mm ( $AG > 2$  mm), em função das profundidades de amostragem do solo, em áreas sob dois sistemas de rotação de culturas, e área não antropizada (Cerradão), em um Latossolo vermelho distrófico.

Sistemas <sup>1</sup>	DMG (mm)		DMP (mm)		AG > 2 mm (%)	
	0-2,5 cm	15-17,5 cm	0-2,5 cm	15-17,5 cm	0-2,5 cm	15-17,5 cm
F/M+B/F	1,92 aB <sup>2</sup>	1,63 bA	3,11 aB	2,80 bB	92,50 aA	91,60 aA
F/S+B/F	2,55 aA	1,40 bB	3,70 aA	2,61 bB	93,90 aA	89,13 bA
Cerradão	2,12 aB	1,88 aA	3,28 aB	3,12 aA	92,13 aA	90,93 aA

<sup>1</sup> F/M+B/F: feijão/milho + braquiária/feijão; F/S+B/F: feijão/soja + braquiária/feijão.

<sup>2</sup> Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna (sistemas) e minúscula na linha (profundidades), não diferem entre si, para cada variável, pelo teste Tukey a 5% de significância.

Os agregados são fatores de grande importância para a conservação do solo por conferirem maior resistência ao processo erosivo, proteção à matéria orgânica e, conseqüentemente, à população microbiana. Por outro lado, a matéria orgânica exerce um importante papel na formação de agregados, como agente cimentante. As correlações positivas de DMG e DMP com carbono orgânico do solo (Tabela 4) corroboram essa hipótese, como também evidenciado por de Roth & Haas (1989).

Os níveis de nitrogênio total (NT) não apresentaram diferenças significativas entre as profundidades. No entanto, na rotação feijão/soja + braquiária/feijão observou-se um valor de NT 80% superior ao observado na rotação feijão/milho + braquiária/feijão (Figura 2). Isso se explica pelo fato das leguminosas adicionarem nitrogênio ao solo através do processo de fixação biológica de nitrogênio, o que constitui numa importante contribuição deste nutriente ao sistema de rotação. Resultados obtidos por Lovato *et al.* (2004) corroboram que a introdução de leguminosas em sistemas de rotação de culturas contribui para a adição de nitrogênio e carbono no solo. Segundo Silveira *et al.* (2005), as leguminosas exercem papel de substancial importância como fornecedoras de nutrientes, uma vez que estas têm a vantagem de disponibilizar, prontamente, nutriente para as culturas sucessoras devido à rápida decomposição dos seus resíduos.

Os resultados de carbono orgânico do solo (CO) e de carbono da biomassa microbiana (BM-C) nos sistemas e profundidades avaliados estão na

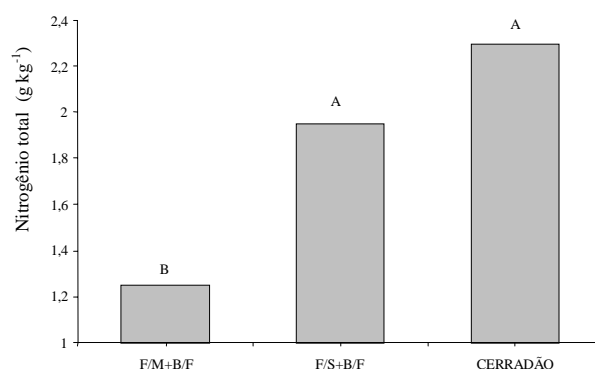


Figura 2. Nitrogênio total do solo em áreas sob dois sistemas de rotação de culturas (F/M+B/F: feijão/milho + braquiária/feijão; F/S+B/F: feijão/soja + braquiária/feijão) e área sem interferência antrópica – Cerradão (médias seguidas pela mesma letra, para cada variável, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância).

Tabela 6. Para CO observou-se maior concentração nas amostras superficiais (0-2,5 cm) em relação às subsuperficiais (15-17,5 cm), em todas as áreas estudadas. Nas primeiras camadas de solo os processos de transformação da matéria orgânica pela atividade microbiana são mais intensos, o que proporciona acúmulo de carbono orgânico nesta profundidade. Fabrício & Salton (1999) verificaram, em Dourados-MS, após três anos de avaliação de diferentes sistemas de produção, aumento de cerca de 30% no teor de matéria orgânica na camada superficial do solo (0-5 cm), em áreas sob rotação de pastagem/lavoura. O decréscimo de CO em profundidade pode ser justificado também pelo não revolvimento do solo, o que ratifica os resultados obtidos por Soler *et al.* (2002).

A área sob cerradão mostrou maior concentração de carbono orgânico quando comparada às demais áreas estudadas, especialmente na superfície (Tabela 6). Este fato foi também observado por D'Andrea *et al.* (2002), em solo de cerrado goiano. No entanto, a área sob sistema de rotação que inclui a soja proporcionou maior concentração de CO em relação à área sob rotação feijão/milho + braquiária/feijão, nas duas profundidades estudadas. Esse resultado pode ser devido à maior produção de fitomassa de melhor qualidade, isto é, com baixa relação C/N, na rotação F/S+B/F em relação à F/M+B/F. As raízes da soja fixam nitrogênio atmosférico, proporcionando uma palhada de baixa relação C/N e introduzem N ao solo. Esse nitrogênio é aproveitado também pela braquiária, gerando maior produção de fitomassa e de melhor qualidade.

Portanto, o sistema de rotação que inclui a consorciação de soja e braquiária proporcionou melhorias na qualidade do solo em relação ao carbono orgânico, o que é devido ao maior aporte de resíduos orgânicos de boa qualidade depositados na superfície do solo. Outro aspecto importante é o efeito do carbono orgânico nos atributos físicos estudados. Observaram-se correlações positivas entre CO e VTP ( $r = 0,55$ ;  $p < 0,01$ ), CO e DMG ( $r = 0,51$ ;  $p < 0,01$ ), e CO e DMP ( $r = 0,50$ ;  $p < 0,01$ ); e correlação negativa entre CO e Ds ( $r = -0,59$ ;  $p < 0,01$ ). Isso demonstra a importância e a interferência do carbono nestes atributos, indicando que a adoção de um sistema de manejo do solo que proporcione aumento de carbono orgânico pode condicionar melhorias na qualidade do solo.

Os níveis de carbono da biomassa microbiana (BM-C) não diferiram significativamente ( $p > 0,05$ )

Tabela 6. Carbono orgânico (CO), carbono da biomassa microbiana (BM-C) e quociente microbiano (BM-C/CO), em função das profundidades de amostragem do solo estudadas, nas áreas com os dois sistemas de rotação de culturas e na área de referência (Cerradão), em Latossolo vermelho distrófico.

Sistemas <sup>(1)</sup>	CO (g kg <sup>-1</sup> )		BM-C (µg C g <sup>-1</sup> solo)		CO/BM-C (%)
	0-2,5 cm	15-17,5 cm	0-2,5 cm	15-17,5 cm	
F/M+B/F	33,6 aC	24,7 bB	490,8 aB	632,4 aA	1,46
F/S+B/F	55,1 aB	36,5 bA	559,6 aB	532,0 aA	1,02
Cerradão	62,9 aA	37,7 bA	1133,4 aA	767,6 bA	1,80

<sup>1</sup>- F/M+B/F: feijão/milho + braquiária/feijão; F/S+B/F: feijão/soja + braquiária/feijão.

<sup>2</sup>- Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna (sistemas) e minúscula na linha (profundidades), não diferem entre si para cada variável, pelo teste Tukey a 5% de significância.

entre as profundidades, com exceção na área de Cerradão, que apresentou maior nível de BM-C na superfície (Tabela 6). Resultados semelhantes foram reportados por Mendes *et al.* (1999), em Latossolo vermelho amarelo sob cerrado, com teores mais altos de BM-C no solo sob vegetação nativa do que em sistemas cultivados. O mesmo foi verificado por Venzke Filho (1999), em Latossolo vermelho, no Estado do Paraná.

A biomassa microbiana é a fração viva da matéria orgânica do solo, sendo esta considerada um reservatório lábil de nutrientes, que atua de forma ativa na decomposição de resíduos, no fluxo de energia no solo e na ciclagem de nutrientes (Moreira & Siqueira 2002). Neste sentido, sistemas de manejo do solo que condicionam aumentos em atributos biológicos associados à biomassa microbiana proporcionam incremento na ciclagem de nutrientes e energia no sistema solo (Siqueira *et al.* 1994). No presente estudo, entretanto, não se verificou diferenças significativas entre os sistemas avaliados. Quanto ao quociente microbiano (BM-C/CO), observou-se que a porcentagem de carbono na forma de biomassa microbiana reduziu-se 19% e 43% nas rotações feijão/milho + braquiária/feijão e feijão/soja + braquiária/feijão, respectivamente, em relação ao solo sob Cerradão. A relação entre BM-C e CO do solo reflete processos importantes relacionados às adições e transformações da matéria orgânica e, também, à eficiência de conversão do carbono desta em carbono microbiano (Sparling 1992). Neste sentido, as duas rotações estudadas apresentaram reduções consideráveis, quando comparadas ao solo sem interferência antrópica.

## CONCLUSÕES

1. Os dois sistemas de rotação de culturas avaliados (feijão/milho + braquiária/feijão e feijão/soja + braquiária/feijão) afetam diferentemente atributos físicos, químicos e biológicos do solo estudado.
2. A conversão do solo sob cerradão em sistema de produção agrícola baseado nas rotações de cultura avaliadas, ocasiona aumento da densidade do solo e redução nos seguintes atributos: volume total de poros, macroporosidade, carbono orgânico, nitrogênio total e carbono da biomassa microbiana.
3. A utilização do sistema de rotação feijão/soja + braquiária/feijão, em relação à rotação feijão/milho+braquiária/feijão, proporciona melhorias na qualidade do solo, em especial na densidade do solo, diâmetros médios geométrico e ponderado, carbono orgânico e nitrogênio total.

## REFERÊNCIAS

- Albuquerque, J.A., D.J. Reinert, J.E. Fiorin, J. Ruedel, J. Petreire & F. Fontinelli. 1995. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 19: 115-119.
- Anghinoni, I. & R.L. Salet. 2000. Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado. p. 41-59. In J. Kaminski. *Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto*. Pelotas, NR-SBCS. 482 p.
- Arshad, M.A., B. Lowery & R. Grossman. 1996. Physical tests for monitoring soil quality. p.1-43. In J. W. Doran & A.J. Jones (Ed.). *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America. Madison: (SSSA Special Publication 49). 410 p.
- Assis, E.P.M., M.A.S. Cordeiro, H.B. Paulino & M.A.C. Carneiro. 2003. Efeito da aplicação de nitrogênio na atividade microbiana e na decomposição de sorgo em solo de cerrado sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 33:107-112.
- Balbino, L.C. 2001. Évolution de la structure et des propriétés hydrauliques dans des Ferralsols mis en prairie Pâturée (Cerrado, Brésil). Thèse doctora. INAPG, Paris. 2001. 128 p.
- Blake, G.R. & K.H. Hartge. 1986. Bulk density. p.377-382. In A. Klute (Ed.). *Methods of soil analysis*. 2. ed. American Society of Agronomy, Madison. 1188 p.
- Brookes, P.C. 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of soils*, 19: 269-279.
- Cervi, E. U. A. 2003. A revolução da palha. *Revista Plantio Direto*, 73: 8-12.
- D'Andrea, A.F., M.L.N. Silva, N. Curi, J.O. Siqueira & M.A.C. Carneiro. 2002. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 26: 913-923.
- Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. p. 443-461. In C.A. Black. *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy, Madison. 1188 p.
- Eltz, F.L.P., R.T.G. Peixoto & F. Jaster. 1989. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 13: 259-257.
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2. ed. Embrapa, Rio de Janeiro. 212 p.
- Euclides, R.F. 1983. Manual de utilização do programa SAEG (Sistema para análises estatísticas e genéticas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 59 p.
- Fabício, A.C. & J.C. Salton. 1999. Alterações no teor de matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de produção. Embrapa-CPAO, Dourados. 4 p. (Comunicado Técnico 7).
- Guedes, H.M. 1997. Efeitos de diferentes sistemas de manejo na distribuição de classes de agregados e nos teores de carbono orgânico em um Latossolo vermelho escuro argiloso na região dos cerrados. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília. 153 p.
- Kemper, W.D. & R.C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. p.425-442. In A. Klute (Ed.). *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy, Madison. 1188 p.
- Kluthcouski, J. 1998. Efeito de manejo em alguns atributos de um Latossolo roxo sob cerrado e nas características produtivas de milho, soja, arroz e feijão, após oito anos de plantio direto. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo-Esalq, Piracicaba. 179 p.
- Kluthcouski, J., L.F. Stone & H. Aidar. 2003. Integração lavoura-pecuária. Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia. 570 p.
- Lopes, A.S., S. Wietholter, L.R.G. Guilherme & C.A. Silva. 2004. Sistema plantio direto: Bases para o manejo da fertilidade do solo. ANDA, São Paulo. 110 p.



- Lovato, T., J. Mielniczuk, C. Bayer & F. Vezzani. 2004. Adição de carbono e nitrogênio total e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 28: 95-110.
- Mendes, I. C., R.G. Carneiro, A.M. Carvalho, L. Vivaldi & M.A.T. Vargas. 1999. Biomassa C e atividade microbiana em solos de cerrado sob plantio direto e convencional. Embrapa/CPAC, Planaltina. 5 p. (Boletim técnico 5).
- Moreira, F.M.S. & J.O. Siqueira. 2002. Microbiologia e bioquímica do solo. Universidade Federal de Lavras, Lavras. 625 p.
- Oliveira, G. C., M.S. Dias Júnior, D.V.S. Resck & N. Curi. 2004. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 28: 327-336.
- Pena, Y.A., A.S. Gomes & R.O. Souza. 1996. Influência de diferentes sistemas de cultivo nas propriedades físicas de um solo de várzea cultivado com arroz irrigado. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 20: 517-523.
- Ribeiro, M.F.S., F.S. Neto & J.A.B. Santos. 2001. Plantio Direto na pequena propriedade. Informe Agropecuário, 22:100-108.
- Roth, C. & U. Haas. 1989. O efeito das interações físico-químicas do solo na agregação de um Latossolo Roxo. Technische Universitat Berlin, Berlin. 20 p. (Relatório Final).
- Sá, J.C. de M. 1999. Manejo da fertilidade do solo no sistema de plantio direto. p. 267-320. In J.O. Siqueira, F.M.S. Moreira, A.S. Lopes, L.R.G. Guilherme, V. Faquin, A.E. Furtuni Neto & J.G. Carvalho. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. SBCS, Viçosa / UFLA/DCS, Lavras. 818 p.
- Salton, J.C., Fabrício, A.C., Hermani, L.C. 2001. Rotação lavoura pastagem no sistema plantio direto. Informe Agropecuário, 22: 92-99.
- Silveira, P.M., A.J.B. Pereira & H.J. Kliemann. 2005. Adubação nitrogenada no feijoeiro cultivado sob plantio direto em sucessão de culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40: 377-381.
- Silva, V.R.; D.J. Reinert & J.M. Reichert. 2000. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24: 191-199.
- Siqueira, J.O., F.M.S. Moreira, B.M. Grisi, M. Hungria & R.S. Araujo. 1994. Microrganismos e processos biológicos no solo: perspectiva ambiental. Embrapa - SPI, Brasília. 142 p.
- Soler, M.A., D. Horn, D. Baretta, D. Leite, J.A. Pereira, A.L. Mafra, J.A. Albuquerque, A. Nagaoka & I. Bertol. 2002. Profundidade de sulcamento na semeadura direta de pastagens anuais e modificações na taxa de infiltração e resistência a penetração de um Cambissolo Húmico. p. 4. In Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo, 4. Porto Alegre. (Resumos-CD Rom.)
- Souza, E.D., M.A.C. Carneiro & H.B. Paulino. 2005. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40: 1135-1139.
- Sparling, G. 1992. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal Soil Resourch*, 30: 195-207.
- Tormena, C.A., G. Roloff & J.C.M. Sá. 1998. Propriedades físicas do solo sob semeadura direta influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22: 301-309,
- Vance, E.D., P.C. Brookes & D.S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19: 703-707.
- Venzke Filho, S.P. 1999. Microbiota e sua atividade em uma cronossequência sob sistema de plantio direto. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo - Esalq, Piracicaba. 65 p.
- Vettori, L. 1969. Métodos de análise de solo. Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro. 24 p. (Boletim Técnico 7).