



**CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE
UM LATOSSOLO APÓS TRÊS DÉCADAS DE
DIFERENTES MANEJOS DE PLANTAS
INVASORAS EM UMA LAVOURA CAFEEIRA**

CEZAR FRANCISCO ARAUJO JUNIOR

2010

CEZAR FRANCISCO ARAUJO JUNIOR

**CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE UM LATOSSOLO APÓS
TRÊS DÉCADAS DE DIFERENTES MANEJOS DE PLANTAS
INVASORAS EM UMA LAVOURA CAFEIEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. PhD. Moacir de Souza Dias Junior

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Araujo Junior, Cezar Francisco.

Capacidade de suporte de carga de um Latossolo após três décadas de diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira / Cezar Francisco Araujo Junior. – Lavras : UFLA, 2010.
143 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Moacir de Souza Dias Junior.

Bibliografia.

1. Curva de compressão do solo. 2. Pressão de preconsolidação.
3. Ensaio de compressão uniaxial. 4. Umidade crítica. 5. Carbono orgânico do solo. 6. Distribuição de tensões em solos. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.43

CEZAR FRANCISCO ARAUJO JUNIOR

**CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE UM LATOSSOLO APÓS
TRÊS DÉCADAS DE DIFERENTES MANEJOS DE PLANTAS
INVASORAS EM UMA LAVOURA CAFEIEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Ciência do Solo, área de
concentração em Recursos Ambientais e Uso da
Terra, para a obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 15 de janeiro de 2010

Prof. Dr. Geraldo César de Oliveira	UFLA
Prof. Dr. Mozart Martins Ferreira	UFLA
Pesq. Dr. Arystides Resende Silva	Embrapa Amazônia Oriental
Pesq. Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães	CTSM-Epamig

Prof. PhD. Moacir de Souza Dias Junior

UFLA

(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

“A instrução é dote que não se gasta, direito que não se perde, liberdade que não se limita.”

*Aos meus Pais,
Cezar Francisco Araujo (in memoriam) e
Cecília Blanco Garcia Araujo,
por ensinarem o valor do trabalho e da educação.
Aos meus irmãos, Cíntia Garcia Araújo,
Raul Nogueira Araújo Neto e
Josemara Garcia Araújo,
pela compreensão e apoio indispensável,
sem os quais não seria possível
a realização deste trabalho.
Ao meu afilhado Cauã Araujo Brito.*

DEDICO

“A ética da entidade na educação profissional deve trabalhar permanentemente as condutas dos alunos para fazer deles defensores do valor da competência, do mérito, da capacidade de fazer bem feito, contra os favoritismos de qualquer espécie, e da importância da recompensa pelo trabalho bem feito que inclui o respeito, o reconhecimento e a remuneração condigna”.

“A competência não se limita ao conhecer, mas vai além porque envolve o agir numa situação determinada: não é apenas saber, mas saber fazer. Para agir competently é preciso acertar no julgamento da pertinência, ou seja, posicionar-se diante da situação com autonomia para produzir o curso de ação mais eficaz. A competência inclui o decidir e agir em situações imprevistas, o que significa intuir, pressentir arriscar com base na experiência anterior e no conhecimento”.

“Ser competente é ser capaz de mobilizar conhecimentos, informações e até mesmo hábitos, para aplicá-los, com capacidade de julgamento, em situações reais e concretas, individualmente e com sua equipe de trabalho. Sem capacidade de julgar, considerar, discernir e prever os resultados de distintas alternativas, eleger e tomar decisões, não há competências. Sem os valores da sensibilidade e da igualdade não há julgamentos ou escolhas autônomas que produzam práticas profissionais para a democracia e a melhoria da vida. Parafraseando o Parecer CNB/CEB 15/98, sem conhecimento não há constituição da virtude, mas sozinhos os conhecimentos permanecem apenas no plano intelectual”. “São inúteis como orientadores das práticas humanas.”

Texto extraído da Lei Federal nº 5.692/71 que reformulou a Lei Federal nº 4.024/61 no tocante ao ensino de primeiro e segundo grau.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, saúde e por proporcionar esta oportunidade.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), especialmente ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Moacir de Souza Dias Junior, pela orientação, ensinamentos, amizade e confiança, ao longo dos anos de trabalho.

Aos pesquisadores da Epamig/CTSM, Paulo Tácito Gontijo Guimarães pela amizade e coorientação no trabalho, além da participação na banca examinadora; Elifas Nunes de Alcântara, por conceder a área para o estudo, auxiliar no desenvolvimento e transmitir conhecimentos imprescindíveis para o desenvolvimento do presente trabalho.

Aos professores Geraldo César de Oliveira e Mozart Martins Ferreira, pela amizade, conselhos e disponibilidade para participar da banca examinadora.

A todos os professores do DCS/UFLA, pelo conhecimento transmitido, auxílio e contribuição ao trabalho.

Ao pesquisador Dr. Arystides Resende Silva, da Embrapa Amazônia Oriental, pela amizade, disponibilidade e participação na banca examinadora.

Aos funcionários do Laboratório de Física do Solo, Dulce Claret Moraes, Doroteo e Delanne Ribeiro, pela amizade e consideração por mim.

Aos professores Donald Gabriels (Ghent University-Bélgica), Donald Nielsen (University of California, Davies, USA), Idelfonso Pla Sentis (Universitat Llieida, Espanha) e Edward Skidmore (USDA, Kansas, USA), diretores do College on Soil Physics, realizado em 2007 no The Abdus Salam – International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Itália, pela oportunidade de participação, que proporcionou grande enriquecimento profissional e pessoal.

Aos professores Moacir de Souza Dias Junior (DCS-UFLA), Deyanira Lobo (Universidad Central de Venezuela) e Donald Gabriels (Ghent University-Bélgica), diretores da Escuela Latinoamericana de Física de Suelos, ELAFIS, realizada no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, no ano de 2009, pela oportunidade de participação, organização e proferir uma palestra no evento.

A todos os funcionários da Epamig de São Sebastião do Paraíso, MG, especialmente Paulo Guido de Azevedo, Homero José Lemos, Antônio Eguimar Pereira Xavier e Juracy Júnior de Oliveira.

Aos colegas de trabalho que passaram pelo Laboratório de Física do Solo, Marcos Koiti Kondo, Reginaldo Barbosa da Silva, Welington Willian Rocha, Ivoney Gontijo, Ayodele Ebenezer Ajayi (Federal University of Technology, Ondo State Akure, Nigéria), Giovana Alcântara Maciel e Fabrício de Menezes Telo Sampaio.

Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café CBP&D/Café, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do presente estudo.

A todos os colegas da pós-graduação, especialmente: Bruno Silva Pires, Piero Iori, Aretusa Daniela Resende Mendes (DBI), Marcelo Rodrigues (DBI), Eduardo da Costa Severiano, Junior César Avanzi (pós-doutorando), Geila dos Santos Carvalho, Maurício Vicente Alves, Michele Duarte de Menezes, Karina Marie Kamimura, Leandro Marciano Marra, Ayeska Hubner Braga Nunes, Carla Eloize Carducci, Elen Alvarenga, Daniela Aparecida Andrade, Paula Sant'Anna Moreira Pais, Bruno Lima Soares, Ciro Augusto de Souza Magalhães, Fábio Satoshi Higashikawa, Fabrício Willian de Ávila, Rodrigo Martins Ribeiro, Sílvio Júnio Ramos, Vitória de Souza Oliveira e Waldete Japiassu de Oliveira.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo da UFLA: Maria Alice; Simone de Oliveira (secretária da Pós-Graduação), Pezão, Cleuza e Eliane.

BIOGRAFIA

CEZAR FRANCISCO ARAUJO JUNIOR, filho de Cezar Francisco Araujo e Cecília Blanco Garcia, nasceu na cidade de Três Pontas, no Sul de Minas Gerais. No mesmo município concluiu o ensino básico, passando pelas escolas Coração de Jesus, Escola Estadual Cônego José Maria e Escola Estadual Prefeito Jacy Junqueira Gazola, nesta última concluiu o ensino fundamental.

Aos 14 anos ingressou no ensino médio, no Curso Técnico da Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho, MG, onde obteve título de técnico em agropecuária, no ano de 1997. No ano 2000, após longas jornadas no curso Pré-Vestibular CEVEST, em Lavras, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Lavras. Iniciou a iniciação científica no Departamento de Ciência do Solo/Laboratório de Física do Solo, sob orientação do Prof. Moacir de Souza Dias Junior. Gradou-se em Agronomia na UFLA no ano de 2005. No mesmo ano ingressou no Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Ciência do Solo (DCS-UFLA). Em 2007, iniciou o doutorado na mesma instituição e departamento, no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO GERAL	i
GENERAL ABSTRACT	iii
CAPÍTULO 1	1
1 Introdução Geral	1
2 Referencial Teórico	3
2.1 Manejo de plantas invasoras em lavouras cafeeiras e sistemas de cultivo em culturas perenes	3
2.2 Métodos de controle de plantas invasoras e seus efeitos no sistema solo-água-planta	5
2.3 Compressão e capacidade de suporte de carga do solo	10
2.4 Posição de amostragem e atributos físico-hídricos em lavoura perenes .	16
2.5 Efeitos do manejo de plantas invasoras em atributos químicos	18
2.6 Efeitos do manejo de plantas invasoras sobre a produtividade de lavouras cafeeiras	21
3 Referências Bibliográficas	23
CAPÍTULO 2: Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos nas entrelinhas de uma lavoura cafeeira.....	31
1 Resumo	32
2 Abstract	33
3 Introdução	34
4 Material e Métodos	36
4.1 Localização e caracterização da área experimental	36
4.2 Condução do experimento	38
4.3 Amostragem	42
4.4 Análises de laboratório	42
4.5 Análises estatísticas	44
5 Resultados e Discussão	45

5.1 Densidade do solo e carbono orgânico do solo	45	
5.2 Tensões aplicadas ao solo e sua distribuição	48	
5.3 Capacidade de suporte de carga do solo	51	
6 Conclusões	76	
7 Referências Bibliográficas	77	
CAPÍTULO 3: Capacidade de suporte de carga de um Latossolo induzida pelo		
tráfego de máquinas e pelos manejos de plantas invasoras em lavoura		
cafeeira.....		83
1 Resumo	84	
2 Abstract	85	
3 Introdução	86	
4 Material e Métodos	89	
4.1 Localização e caracterização da área experimental	89	
4.2 Condução do experimento	90	
4.3 Amostragem	92	
4.4 Análises de laboratório	94	
4.5 Análises estatísticas	96	
5 Resultados e Discussão	96	
5.1 Densidade do solo e carbono orgânico na posição de amostragem linha		
de tráfego das máquinas e equipamentos	96	
5.2 Capacidade de suporte de carga na posição de amostragem linha		
de tráfego das máquinas e equipamentos	100	
6 Conclusões	124	
7 Considerações finais	124	
8 Referências bibliográficas	126	
ANEXOS	133	

RESUMO GERAL

ARAÚJO JUNIOR, Cezar Francisco. **Capacidade de suporte de carga de um Latossolo após três décadas de diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira**. 2010. 143 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.*

O café é uma das principais commodities produzidas no Brasil e o controle de plantas invasoras é uma das práticas de manejo mais intensivas, devido à sua contribuição tanto na produtividade agrícola quanto no impacto ao ambiente. Neste contexto, este estudo foi realizado com os objetivos de: i) avaliar como diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira influenciam os atributos densidade do solo, carbono orgânico e capacidade de suporte de cargas do solo em relação ao solo sob mata nativa; ii) desenvolver modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e cultivado com cafeeiros, submetido a diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras, em duas posições de amostragem; iii) determinar a tensão máxima aplicada ao solo pelo trator cafeeiro Valmet® 68 e estabelecer a umidade crítica para o tráfego deste trator. O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental da Epamig, no município de São Sebastião do Paraíso, MG (Latitude de 20°55'00'' S e Longitude 47°07'10'' W de Greenwich à altitude de 885 m), em uma lavoura cafeeira sob diferentes manejos de plantas invasoras e em uma mata nativa sob um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), textura argilosa e mineralogia gibbsítica. Os manejos de plantas invasoras foram: sem capina (SCAP), capina manual (CAPM), herbicida de pós-emergência (HPOS), roçadora (ROÇA), enxada rotativa (ENRT), grade (GRAD) e herbicida de pré-emergência (HPRE). Os equipamentos utilizados no manejo da lavoura cafeeira foram tracionados por um trator cafeeiro Valmet® modelo 68. A tensão máxima vertical ($\sigma_{\text{máx}}$) e a distribuição de tensões nos diferentes rodados e condições de solo foram obtidos utilizando-se o programa Tyres/Tracks and Soil Compaction (TASC). Em cada sistema de manejo, foram coletadas, aleatoriamente, nas profundidades 0–3, 10–13 e 25–28 cm, 15 amostras indeformadas de solo, no centro das entrelinhas dos cafeeiros (2,0 m de distância do caule do cafeeiro) e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos (0,8 m de distância do caule dos cafeeiros), totalizando 675 amostras [(15 amostras x 3 profundidades x 2 posições de amostragem na lavoura cafeeira x 7 manejos de plantas invasoras) + (15 amostras x 3 profundidades na mata nativa)]. As amostras indeformadas foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial para a obtenção da curva de compressão do solo.

*Comitê Orientador: Moacir de Souza Dias Junior - UFLA (Orientador), Paulo Tácito Gontijo Guimarães - CTSM/Epamig.

Determinaram-se com essas amostras a pressão de preconsolidação (σ_p), densidade do solo (Ds), umidade volumétrica (θ) e, do excedente das amostras indeformadas, foram determinados textura, carbono orgânico do solo (COS) e teor de óxidos totais. Modelos de capacidade de suporte de carga (CSC) entre σ_p e θ do tipo $\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$ foram obtidos para verificar os possíveis efeitos dos diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras na estrutura do solo. A tensão máxima exercida pelo trator cafeeiro Valmet® 68 foi de 220 kPa, para o pneu dianteiro 6-16, na pressão de inflação de 172 kPa e de 120 a 140 kPa para o pneu traseiro 12.4 – R28 na pressão de inflação de 124 kPa. As tensões exercidas por este trator podem causar compactação do solo severa até as profundidades de 15-16 cm para os manejos sem revolvimento do solo SCAP, HPOS, ROÇA e HPRE e até as profundidades de 16-21 cm, para os manejos com revolvimento do solo CAPM, ENRT e GRAD. De maneira geral, os manejos de plantas invasoras alteraram a densidade do solo e o teor de carbono orgânico, principalmente na profundidade de 0-3 cm. O solo sob MATA apresenta menor CSC nas três profundidades estudadas em relação ao solo cultivado com cafeeiros. No centro das entrelinhas dos cafeeiros, os manejos GRAD e HPRE proporcionam elevados valores de densidade do solo e de CSC ao LVdf, na profundidade de 0-3 cm. Para a profundidade de 25-28 cm, os valores de Ds e os teores de COS não foram alterados pelos diferentes manejos de plantas invasoras na lavoura cafeeira em relação ao solo sob MATA. Na posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos na lavoura cafeeira ocorreram aumentos nos valores de Ds e CSC e redução nos teores de COS, nas três profundidades em relação ao solo sob mata nativa. O manejo com a ROÇA promoveu os maiores aumentos na CSC e nos teores de COS, na profundidade de 0-3 cm. Os manejos CAPM, ENRT e GRAD proporcionaram elevação da CSC, na profundidade de 10-13 cm e HPOS, ROÇA e ENRT, na profundidade de 25-28 cm.

Palavras-chave: curva de compressão do solo; pressão de preconsolidação; ensaio de compressão uniaxial; umidade crítica; carbono orgânico do solo; distribuição de tensões.

GENERAL ABSTRACT

ARAÚJO JUNIOR, Cezar Francisco. **Load bearing capacity of a Latosol after three decades of different weed management in a coffee plantation.** 2010. 143 p. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.*

Coffee is one of the main commodities produced in Brazil and the weed control is a management practices more intensive, because its contribution both in the productivity and in the environment impact. In this context, the objectives of this study were: i) to assess how different weed management in a coffee plantation influence the attributes bulk density, organic carbon and load bearing capacity of the soil in relation to the soil under native forest, ii) to develop load bearing capacity models for a Dystroferric Red Latosol (LVdf) under native forest and coffee crop under different systems of weed management in two sampling positions iii) to determine the maximum applied stress to the soil by the coffee tractor Valmet® 68 and establish the critical moisture to the traffic of this tractor. This study was carried out at the Experimental Farm of Epamig, in São Sebastião do Paraíso, MG (Latitude 20°55'00" S and longitude 47°07'10" W Greenwich at an altitude of 885 m) in a coffee plantation under different weed managements and a native forest in an Dystroferric Red Latosol (LVdf), clayey texture and mineralogical gibbsitic. The weed management were: without hoe (SCAP), manual hoe (CAPM), post-emergence herbicide (HPOS); a mower (ROÇA), rotary tiller (ENRT), coffee tandem disk harrow (GRAD) and pre-emergence herbicide (HPRE). The equipments used in the coffee management were pulled by a coffee tractor Valmet® model 68. The maximum vertical stress (σ_{max}) and the stress distribution in various wheeled and soil conditions were obtained using the TASC program (Tyres/Tracks and Soil Compaction). In each management system were randomly collected at 0–3, 10–13 and 25–28 cm depths, 15 undisturbed soil samples, in the inter-rows of the coffee plants (2.0 m away from the stems of the coffee plants) and in traffic line of the machinery and equipment (0.8 m away from the stems of the coffee plants) totaling 675 soil samples [(15 soils samples x 3 depths x 2 sampling positions in the coffee plantation managements x 7 weed managements) plus (15 soil samples x 3 depths in the native forest)]. Undisturbed soil samples were subjected to uniaxial compression test to obtain the soil compression curve. In these undisturbed soil samples precompression stress (σ_p), bulk density (D_s), volumetric water content (θ) and from the excess of the undisturbed soil samples texture, soil organic carbon (COS) and total oxides content were determined. Load bearing capacity

*Guidance Committee: Moacir de Souza Dias Junior - UFLA (Major Professor), Paulo Tácito Gontijo Guimarães - CTSM/Epamig.

models (CSC) between σ_p and θ of the type $\sigma_p = 10^{(a + b \theta)}$ were obtained to verify possible effects of different weed management systems on soil structure. The maximum stress exerted by the coffee tractor Valmet® 68 was 220 kPa in the front tire 6-16 for the inflation pressure of 172 kPa and of 120 to 140 kPa for the rear tire 12.4 - R28 for the inflation pressure of 124 kPa. The stress exerted by this tractor can cause severe soil compaction to 15–16 cm depths and for the managements without soil disturbance SCAP, HPOS, ROÇA and HPRE and to 16–21 cm depths for managements with soil disturbance CAPM, ENRT and GRAD. In general, the managements of weeds have altered the bulk density and organic carbon content mainly in the 0–3 cm depth. The soil under native forest has lower CSC in the three studied depths in relation to the soil under coffee crop. In the inter-rows of coffee crop the managements GRAD and HPRE provide high values of bulk density and CSC to LVdf at 0-3 cm depth. For the 25–28 cm depth the values of Ds and the levels of COS were not affected by different weed management in coffee plantations in relation to the soil under native forest. In the sampling position in the traffic lines of the machines and equipment in the coffee plantation increases occur in the values of Ds and CSC and reduction in levels of COS in the three deep into the soil under native forest. The management ROÇA promotes the greatest increase in CSC and in the concentrations of COS at 0–3 cm depth. The management CAPM, GRAD and ENRT cause increase of the SCC at 10–13 cm depth and HPOS, ROÇA and ENRT at 25–28 cm depth.

Key words: soil compression curve; precompression stress; uniaxial compression test; critical moisture; soil organic carbon, stress distribution.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

O café é uma das principais commodities produzidas no Brasil. O país é responsável pelo abastecimento de cerca de 30% do mercado mundial e o agronegócio café é um dos principais responsáveis pela geração de empregos, de renda e de desenvolvimento em suas regiões de cultivo.

Minas Gerais é o principal estado brasileiro produtor de café, com cerca de 50% da produção nacional. Lidera também os trabalhos de pesquisa, que resultam em novas tecnologias, logo incorporadas aos sistemas de produção (Corrêa et al., 2009), garantindo eficiência, produtividade e qualidade do produto. Desse modo, vão sendo modernizadas as estruturas dos sistemas de produção e do manejo das lavouras, garantindo uma produção socialmente justa, ambientalmente sustentável, economicamente viável e culturalmente aceitável.

No estado de Minas Gerais, as regiões sul e centro-oeste são responsáveis por quase 1 milhão de hectares plantados, com produção em torno de 9,3 milhões de sacas, o que corresponde a 20% da produção nacional. As regiões sul e centro-oeste do estado de Minas Gerais concentram mais cafezais do que as demais regiões produtoras (Corrêa et al., 2009). Dentre as principais modificações no sistema produtivo dessas regiões, destaca-se a mecanização intensiva, desde os tratos culturais até a colheita, e o manejo integrado de plantas invasoras, os quais são apontados como os principais responsáveis pelas alterações físico-hídricas e químicas nos solos cultivados com cafeeiros.

A mecanização intensiva está entre as tecnologias mais utilizadas para a redução dos custos de produção na lavoura cafeeira. Ela é vital para aumentar a competitividade e constitui uma estratégia fundamental de garantia da sobrevivência da cafeicultura brasileira (Corrêa et al., 2009), o que tem levado

os produtores a intensificarem as operações mecanizadas em áreas aptas. No entanto, quando os solos são submetidos a tensões superiores à sua capacidade de suporte de carga ou são trafegados em condições inadequadas de umidade, as tensões aplicadas à superfície do solo podem ser transmitidas ao longo do perfil, resultando em compactação adicional e degradação de sua estrutura, causando aumento da resistência mecânica do solo, que poderá inibir o desenvolvimento adequado do sistema radicular.

O controle de plantas invasoras é uma das práticas de manejo mais intensivas na condução de lavouras cafeeiras, podendo tanto influenciar a produtividade agrícola quanto causar impacto no ambiente. Apesar da importância desse problema, estudos que relacionam a ação dos sistemas de manejo no solo com os seus efeitos nos atributos físico-hídricos do solo são escassos, necessitando uma maior compreensão para a adequação dos sistemas de manejo.

Alterações estruturais advindas do manejo de plantas invasoras destacam-se entre os principais efeitos adversos dessa prática. Alterações estruturais, causadas pelo manejo inadequado, tornam as plantas mais suscetíveis aos veranicos, por alterarem o fluxo de água, promovendo inadequada aeração e deficiência nutricional, causando redução do crescimento radicular e potencializando a erosão do solo, além de comprometer a qualidade do solo para a produção agroflorestal (Horn, 1988; Vogeler et al., 2006).

Dentre os atributos do solo mais alterados ao se adotar diferentes sistemas de manejo destacam-se: a dinâmica e o acúmulo de carbono orgânico, a ciclagem de nutrientes e a geração de cargas negativas no solo, além das alterações das relações físico-hídricas, devido à alteração do sistema poroso, bem como a retenção de água pelo solo; o balanço hídrico, o comportamento compressivo, a resistência mecânica e a capacidade de suporte de carga dos solos.

Assim sendo, com a realização deste estudo, testou-se a hipótese de que as alterações nos atributos físico-hídricos de um Latossolo cultivado com cafeeiros em relação ao solo sob mata nativa estão relacionadas à adoção de diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras.

Neste contexto, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a influência de três décadas de diferentes manejos de plantas invasoras na capacidade de suporte de cargas de um Latossolo Vermelho distroférico em relação solo sob mata nativa. Os objetivos específicos do trabalho foram:

a) avaliar como diferentes manejos de plantas invasoras em uma lavoura cafeeira influenciam os atributos densidade do solo, carbono orgânico e capacidade de suporte de cargas do solo, em relação ao solo sob mata nativa;

b) desenvolver modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e cultivado com cafeeiros submetido a diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras, em duas posições de amostragem;

c) determinar a tensão máxima aplicada ao solo pelo trator Valmet® 68 cafeeiro e estabelecer a umidade crítica para o tráfego deste trator.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manejo de plantas invasoras em lavouras cafeeiras e sistemas de cultivo em culturas perenes

O manejo de plantas invasoras é uma das práticas mais intensivas na agricultura, causando preocupação do ponto de vista agrícola e ambiental (Yang et al., 2007). Devido à influência do manejo de plantas invasoras, tanto no aspecto agrícola quanto no ambiental, seus efeitos têm sido estudados não somente relacionado à redução da produção das culturas, mas também em

relação à estrutura dos solos e à degradação ambiental.

Os atributos relacionados com a estrutura dos solos e que podem ser influenciados pelo manejo de plantas invasoras têm sido foco de diversos estudos (Kurachi & Silveira, 1984; Silveira et al., 1985; Faria et al., 1998; Alcântara & Ferreira, 2000a, 2000b; Yang et al., 2007; Araujo Junior et al., 2008). Dentre estes estudos, destacam-se aqueles que consideram o efeito da cobertura vegetal proporcionado pelas plantas invasoras (Faria et al., 1998; Carvalho et al., 2007), a intensidade das operações para o controle das plantas invasoras (Alcântara & Ferreira, 2000a; Yang et al., 2007) e o tráfego em condições inadequadas de umidade, devido ao fato de, nestas condições, ocorrerem, mais frequentemente, a degradação da estrutura do solo e a alteração dos atributos físico-hídricos (Silva et al., 2006; Gontijo et al., 2008; Araujo Junior et al., 2008).

Solos submetidos ao manejo inadequado e à utilização excessiva de máquinas e equipamentos agrícolas apresentam maior resistência mecânica e presença de crostas que promovem redução na continuidade de poros de transmissão, os quais reduzem o transporte de água, resultando em aumento do escoamento superficial e erosão do solo (Pagliai, 2007). Para contornar os impactos diretos do manejo intensivo de plantas invasoras, uma abordagem holística tem sido adotada, com base no manejo integrado de plantas invasoras.

Nesse tipo de manejo integrado, utilizam-se diferentes sistemas de controle de plantas invasoras para reduzir as perdas causadas por estas plantas, os custos de controle, a energia gasta com os tratos culturais e outras operações (Ronchi et al., 2001). Preocupações em torno dos custos econômicos, efeitos ambientais e eficácia a longo prazo das práticas usuais reforçam a necessidade do manejo integrado das plantas invasoras (Yang et al., 2007).

Em adição a isso, o manejo integrado de plantas invasoras tem sido sugerido para prevenir a degradação estrutural e a erosão, melhorando a

trafegabilidade e a trabalhabilidade da área, além de reduzir a resistência das plantas daninhas aos herbicidas e aumentar a diversidade das espécies dessas plantas. A utilização constante de um mesmo método de controle das plantas invasoras ao longo do ano reduz a eficácia do controle, além de proporcionar a resistência de algumas espécies ao princípio ativo do herbicida (Ronchi et al., 2001). Em contrapartida, nas épocas secas do ano, o manejo integrado de plantas invasoras pode reduzir o vigor e a produção dos cafeeiros, embora melhore a qualidade do solo. Com base nessa teoria, Ronchi et al. (2001) e Alcântara et al. (2008) recomendam que, no período da seca, a lavoura cafeeira deve ser mantida livre das plantas invasoras, para que não haja concorrência por água e nutrientes. Portanto, o emprego correto dos métodos de controle de plantas invasoras, na época certa, permite a obtenção de alta produtividade e adequada conservação do solo (Souza & Melles, 1986).

Vários aspectos devem ser considerados na escolha do método de controle de plantas invasoras, havendo necessidade de elaborar um plano menos impactante ao sistema solo-água-planta. Entre as técnicas de manejo, o controle, de forma correta das plantas invasoras, assume papel de fundamental importância para a estrutura do solo, pela possibilidade de melhorias em sua qualidade, conferindo-lhe condições de sustentabilidade. Assim, o manejo de plantas invasoras não pode ser analisado somente a partir de observações pontuais de um processo de competição por água e luz entre as plantas invasoras e a cultura (Faria et al., 1998). O manejo correto dessas plantas pode contribuir para a manutenção das propriedades físico-hídricas e mecânicas do solo, reduzindo a erosão e contribuindo para o aporte de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, resultando em acréscimo na produtividade.

2.2 Métodos de controle de plantas invasoras e seus efeitos no sistema solo-água-planta

Os herbicidas e as capinas mecânicas são as práticas dominantes no controle de plantas invasoras, em muitos sistemas produtivos (Yang et al., 2007), inclusive em lavouras cafeeiras.

A capina manual, feita com enxada, enquadra-se como uma medida mecânica para o controle de plantas invasoras. Este método é muito eficaz no controle de plantas invasoras e empregado em pequenas e médias propriedades (Ronchi et al., 2001). Contudo, seu baixo rendimento, a necessidade de grande quantidade de mão-de-obra e seu alto custo tornam sua utilização apenas complementar aos métodos de capinas mecânicas tratorizadas e capinas químicas (Silveira et al., 1985; Ronchi et al., 2001) ou quando o sistema de plantio e a declividade da área não permitirem mecanização (Souza & Melles, 1986). Além disso, a utilização constante desse método de controle pode contribuir para a formação do encrostamento superficial, devido à cobertura parcial do solo com uma limitada proteção contra o impacto das gotas de chuva (Faria et al., 1998).

A utilização de roçadoras proporciona um bom controle da erosão devido à pequena movimentação do solo e à cobertura permanente do solo proporcionada por esta prática (Souza & Melles, 1986; Faria et al., 1998; Carvalho et al., 2007), o que pode contribuir para os estoques de carbono orgânico do solo e nitrogênio, constituindo uma estratégia fundamental nos sistemas de produção agrícolas sustentáveis (Alcântara & Ferreira, 2000b; Yang et al., 2007). Além disso, a bioporosidade formada pelo sistema radicular das plantas invasoras pode elevar a infiltração e a drenagem interna, reduzindo as perdas de água e permitindo que a água migre para maiores profundidades do perfil, onde é retida por maiores períodos e é menos perdida por evaporação (Faria et al., 1998; Carvalho et al., 2007). Por outro lado, a permanência das plantas invasoras ao longo de períodos secos pode contribuir para a retirada de água do perfil do solo por transpiração, reduzindo a umidade com o tempo, após

picos de precipitação (Faria et al., 1998). Além disso, a utilização constante de roçadoras pode proporcionar aumento do grau de compactação nos diferentes locais da lavoura cafeeira, devido ao número de operações necessárias para o controle satisfatório das plantas invasoras ao longo do ano (Kurachi & Silveira, 1984; Souza & Melles, 1986; Alcântara & Ferreira, 2000a; Alcântara et al., 2008) o que proporciona aumento na intensidade de tráfego. Aliado ao tráfego das máquinas em condições inadequadas de umidade (Silva et al., 2006), pode induzir à compactação do solo na linha de tráfego do trator, proporcionada pelo “esqui da roçadora” e pelo rodado dos tratores, além de favorecer a formação de camadas compactadas no centro das entrelinhas dos cafeeiros, causada pelas facas do implemento.

As enxadas rotativas e as grades, hoje, já não utilizadas com tanta frequência em lavouras cafeeiras, apresentam o inconveniente de promoverem intensa desagregação do solo, facilitando, com isso, a erosão. Podem, ainda, promover o aumento da compactação (Souza & Melles, 1986) abaixo da profundidade de trabalho do implemento, além da formação de “degraus” entre a linha das plantas e a linha de tráfego, decorrente da erosão intensa (Kurachi & Silveira, 1984; Silveira et al., 1985).

Como ressaltado anteriormente, a capina química com a utilização de herbicidas e as capinas mecânicas são as práticas predominante nas áreas agrícolas para o controle das plantas invasoras. Embora a utilização constante de herbicidas de pré-emergência proporcione sinais evidentes de erosão laminar (Silveira et al., 1985; Souza & Melles, 1986; Faria et al., 1998), associada à formação de microssulcos e micromontículos na superfície (Faria et al., 1998), decorrentes da formação do encrostamento superficial (Faria et al., 1998; Alcântara & Ferreira, 2000b; Araujo Junior et al., 2008; Alcântara et al., 2008), pode também proporcionar maiores produções aos cafeeiros, pela ausência de competição das plantas invasoras com a cultura, além de reduzir a perda de água

por evapotranspiração. Por outro lado, em áreas mantidas com ausência de vegetação nas entrelinhas dos cafeeiros, tem sido observada a formação do encrostamento superficial.

O encrostamento superficial é caracterizado por modificações específicas na superfície do solo, devido ao impacto direto das gotas de chuva que promove a quebra dos agregados e o entupimento dos poros (Faria et al., 1998; Pagliai, 2007). Sua espessura varia de menos de 1 mm até 5 cm a partir da superfície do solo (Pagliai, 2007). Faria et al. (1998) observaram a formação do encrostamento superficial até 15 mm a partir da superfície, em um solo mantido sem vegetação pela associação dos herbicidas de pré e pós-emergência. Estas características são resultantes da redução no tamanho e na quantidade dos poros, na condutividade hidráulica do solo saturado (Pagliai, 2007), no aumento da resistência mecânica do solo, medida pela resistência à penetração ou outro índice de resistência do solo (Soil Science Society of America - SSSA, 2008), bem como aumento nos valores de capacidade de suporte de carga, os quais podem ser utilizados na identificação do encrostamento superficial (Araujo Junior et al., 2008).

O entupimento dos poros nas entrelinhas dos cafeeiros, proporcionado pelo encrostamento superficial, pode contribuir para a manutenção da água, por longos períodos, no solo. A água infiltrada nas linhas dos cafeeiros e percolada para as entrelinhas pode ser mantidas por longos períodos, pela redução da evaporação. Contudo, a utilização constante de um único princípio ativo pode favorecer o acúmulo no solo e a predominância de plantas invasoras resistentes ao produto (Souza & Melles, 1986; Ronchi et al., 2001).

De maneira geral, a utilização de herbicidas de pós-emergência proporciona efeitos intermediários nos teores de carbono orgânico, a densidade do solo e a estabilidade de agregados, quando comparados ao herbicida de pré-emergência e ao manejo sem capina (Alcântara & Ferreira, 2000a). As perdas de

água e solo também foram intermediárias, uma vez que favorecem um índice de cobertura vegetal em torno de 50% e protegem o solo contra a erosão, quando comparado a um solo descoberto e manejado com a utilização de roçadora (Carvalho et al., 2007). Também aumentam o teor de carbono da biomassa microbiana com o passar dos anos, porém, apresenta os menores valores, quando comparado ao solo manejado com a roçadora e o solo preparado com arado de aivecas (Yang et al., 2007).

Alguns efeitos, devido à adoção de diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras, já foram observados por diferentes autores, tais como: aumento dos níveis de matéria orgânica (Alcântara & Ferreira, 2000b), nitrogênio total, aumento do carbono da biomassa microbiana, número de esporos de fungos micorrízicos e solubilização de fosfato resultante da atividade microbiana (Yang et al., 2007), além de aumento e redução do estado de agregação do solo quando se utilizam roçadora e grade, respectivamente, para o controle de plantas invasoras nas entrelinhas da lavoura cafeeira (Silveira & Kurachi, 1985).

O estudo do efeito dos diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras no sistema solo-água-planta torna-se essencial para a compreensão dos fatores envolvidos na produção das lavouras cafeeiras e a manutenção da qualidade ambiental dos solos cultivados com cafeeiros e submetidos a diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras. Ressalta-se a importância de o manejo de plantas invasoras não ser visto simplesmente a partir de observações pontuais de um processo de competição por água e luz entre as plantas invasoras e a cultura, uma vez que os manejos adotados para o controle destas plantas podem afetar severamente a quantidade de água infiltrada e redistribuída no solo (Faria et al., 1998).

Outro aspecto que vale ser considerado é que os efeitos dos manejos de plantas invasoras podem ser alterados gradualmente, com o passar dos anos. No

entanto, sistemas de manejo conservacionistas, adotados por longo prazo, podem aumentar a resistência mecânica da superfície do solo, quando comparados a sistemas de preparo do solo convencionais. Esse aumento na resistência mecânica na superfície deve-se, provavelmente, à formação de agregados na superfície de solos sob sistemas de manejo conservacionistas (Vogeler et al., 2006). Por outro lado, redução na intensidade das operações de manejo do solo e aumento na diversidade das plantas invasoras podem provocar uma melhoria substancial no seqüestro de carbono e nitrogênio sob sistemas de manejo conservacionistas (Yang et al., 2007). Além disso, a cobertura vegetal proporcionada pelas plantas invasoras, em culturas perenes recém-implantadas, possibilita uma cobertura efetiva na estação chuvosa, contribuindo para a redução do impacto direto das gotas de chuva no solo, prevenindo o encrustamento e o escoamento superficial e as perdas de solo, água e nutrientes por erosão (Yang et al., 2007; Carvalho et al., 2007).

Yang et al. (2007) avaliaram um solo sob a adoção de diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras e observaram que a ausência de resposta dos atributos, carbono da biomassa microbiana, matéria orgânica do solo e nitrogênio total, devido ao controle químico associado ao preparo do solo e preparo do solo e roçada no primeiro ano de avaliação. A partir do segundo ano de avaliação, estes autores concluíram que os atributos carbono da biomassa microbiana, matéria orgânica do solo, número de esporos de fungos micorrízicos e nitrogênio total, avaliados nos locais submetidos a três roçadas por ano (primavera, verão e outono), associados ao preparo do solo no inverno, foram superiores em relação ao manejo com herbicida mais preparo do solo.

2.3 Compressão e capacidade de suporte de carga do solo

Atividades antropogênicas alteram a estrutura do solo, comprometendo a sua qualidade física. Para avaliar os impactos das práticas de manejo e no

ambiente, é necessário quantificar as alterações da estrutura do solo (Pagliai, 2007; Lebert et al., 2007). A estrutura do solo é definida como sendo o arrançamento de suas partículas e do espaço poroso entre elas, incluindo, ainda, o tamanho, a forma e o arrançamento dos agregados, formados quando partículas primárias se agrupam em unidades separáveis (Marshall, 1962).

A capacidade do solo para suportar pressões exercidas pelas máquinas e equipamentos depende da resistência mecânica, a qual determina a maior ou a menor susceptibilidade do solo à compactação. Isso tem sido relacionado a vários atributos do solo, tais como textura, mineralogia, estrutura, densidade inicial, porosidade, pressão de preconsolidação, índice de compressão, distribuição e tamanho do sistema poroso (Horn, 1988; Dias Junior, 2000; Alakukku et al., 2003; Vogeler et al., 2006; Gregory et al., 2006; Lebert et al., 2007; Ajay et al., 2009a, 2009b).

A resistência mecânica do solo e, conseqüentemente, sua susceptibilidade à compactação podem ser avaliadas por meio curva de compressão do solo (Figura 1), a qual tem sido utilizada para simular reduções de volume do solo (Larson et al., 1980; Horn, 1988; Dias Junior & Pierce, 1996; Dias Junior, 2000; Alakukku et al., 2003; Peng et al., 2004; Gregory et al., 2006; Lebert et al., 2007).

A curva de compressão do solo representa graficamente a relação entre a pressão aplicada em escala logarítmica e o índice de vazios ou densidade do solo (Casagrande, 1936; Holtz & Kovacz, 1981; Dias Junior, 2000). Constitui-se de duas regiões: uma região de deformações elásticas e recuperáveis, chamada de curva de compressão secundária e uma região de deformações plásticas e irre recuperáveis, chamada de reta de compressão virgem (Larson et al., 1980; Dias Junior & Pierce, 1995; Gregory et al., 2006; Lebert et al., 2007). O ponto que separa essas duas regiões na curva de compressão do solo é a pressão de preconsolidação (σ_p).

A curva de compressão secundária representa as pressões experimentadas pelo solo no passado, sendo, portanto, função do seu manejo, enquanto a curva de compressão virgem representa as primeiras pressões aplicadas a ele (Dias Junior & Pierce, 1996; Dias Junior, 2000; Horn, 2004). É na região da curva de compressão secundária que o solo deve ser cultivado ou trafegado, sem que ocorra compactação adicional. É esse componente da curva de compressão que reflete a história do manejo do solo, o qual tem sido quantificado pela determinação da pressão de preconsolidação (Figura 1).

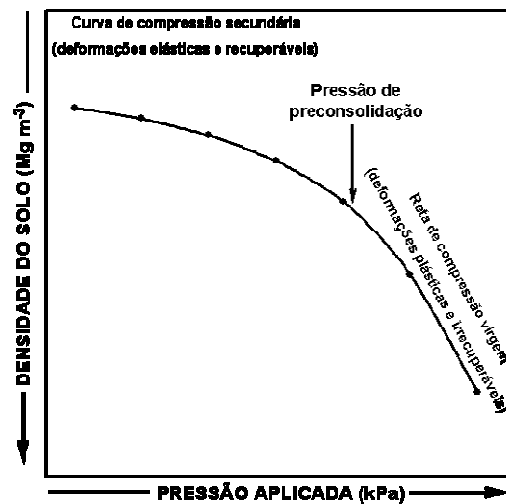


FIGURA 1 Curva de compressão do solo, com seus componentes típicos e ilustrando a posição da pressão de preconsolidação.

Fonte: Adaptado de Dias Junior, 1994

A pressão de preconsolidação (σ_p) é uma medida da resistência mecânica dos solos a qual é resultado de processos pedogenéticos, efeitos antropogênicos ou das condições hidráulicas específicas do local (Horn et al., 2004). Este parâmetro depende de fatores internos e externos do solo (Lebert &

Horn, 1991). Os fatores externos são caracterizados pelo tipo, intensidade e frequência da carga aplicada, enquanto os fatores internos são influenciados pela textura, teor de carbono orgânico (Soane, 1991; Zhang et al., 2005) umidade inicial ou potencial de água (Oliveira et al., 2003; Berli et al., 2003; Peng et al., 2004) e da história de tensão a que este solo foi submetido no passado (Larson et al., 1980; Dias Junior, 2000; Alakukku et al., 2003).

A pressão de preconsolidação tem sido utilizada como indicador da capacidade de suporte de carga e da resistência mecânica do solo, para estimar quantitativamente o risco de compactação do solo (Alakukku et al., 2003) em uma condição específica, num dado conteúdo de água ou potencial de água (Berli et al., 2003; Oliveira et al., 2003; Peng et al., 2004). Quando a pressão de preconsolidação é expressa em função dos diferentes conteúdos de água ou potencial matricial, essa relação é conhecida como modelos de capacidade de suporte de carga (Dias Junior, 1994; Dias Junior & Pierce, 1996; Kondo & Dias Junior, 1999; Oliveira et al., 2003; Berli et al., 2003; Horn et al., 2004; Peng et al., 2004; Araujo Junior et al., 2008; Ajayi et al., 2009a, 2009b).

A capacidade de suporte de carga é definida como a capacidade da estrutura do solo em resistir tensões induzidas pelo tráfego de máquinas ou pisoteio animal sem mudanças no arranjo tridimensional das partículas constituintes do solo (Alakukku et al., 2003). Quando as tensões aplicadas aos solos excederem sua capacidade de suporte de carga, expressa pela pressão de preconsolidação, a estrutura do solo será alterada e a compactação adicional ocorrerá (Dias Junior & Pierce, 1996; Dias Junior, 2000; Horn et al., 2004; Akker & Soane, 2005; Lebert et al., 2007).

A pressão de preconsolidação pode ser utilizada para classificar a susceptibilidade dos solos à compactação (Lebert et al., 2007), bem como o risco de compactação pelo tráfego de máquinas em diferentes épocas do ano (Silva et al., 2006; Dias Junior et al., 2005). Poodt et al. (2000), apud Arvidsson & Keller

(2004), identificaram a coesão aparente e a pressão de preconsolidação como sendo os parâmetros mais importantes para predizerem o risco de compactação do solo, e esses parâmetros têm sido amplamente utilizados em modelos de compactação do solo (Dias Junior, 1994; Oliveira et al., 2003; Peng et al., 2004; Silva & Cabeda, 2006). Modelos são importantes ferramentas para o controle da compactação do solo devido ao tráfego de máquinas e equipamentos agroflorestais. Por meio de deles, estratégias e recomendações para a prevenção da compactação do solo podem ser desenvolvidas (Keller et al., 2007).

A pressão de preconsolidação pode ser obtida pelo procedimento gráfico (Figura 2) desenvolvido por Casagrande (1936), que determina a σ_p a partir do índice de vazios, em função do logaritmo da pressão aplicada foi descrito por Holtz & Kovacs (1981).

1 – escolha do ponto de máxima curvatura na curva de compressão do solo (ponto A na Figura 2);

2 – traçar uma linha horizontal (paralela ao eixo X) a partir do ponto A (linha vermelha);

3 – traçar uma linha tangente a curva de compressão secundária no ponto A (linha azul);

4 – bissetriz do ângulo formado pelos passos 2 e 3 (linha verde);

5 – prolongamento da porção linear da curva de compressão virgem até encontrar a linha da bissetriz obtida no ponto 4 (linha laranja). O ponto de interseção dessas duas linhas (linhas laranja e verde) é a pressão de preconsolidação (ponto B da Figura 2).

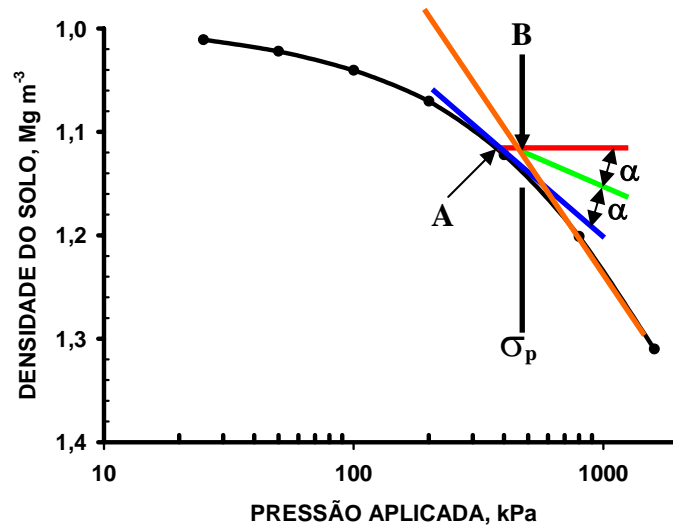


FIGURA 2 Curva de compressão do solo com o procedimento de Casagrande (1936) para o cálculo da pressão de preconsolidação.

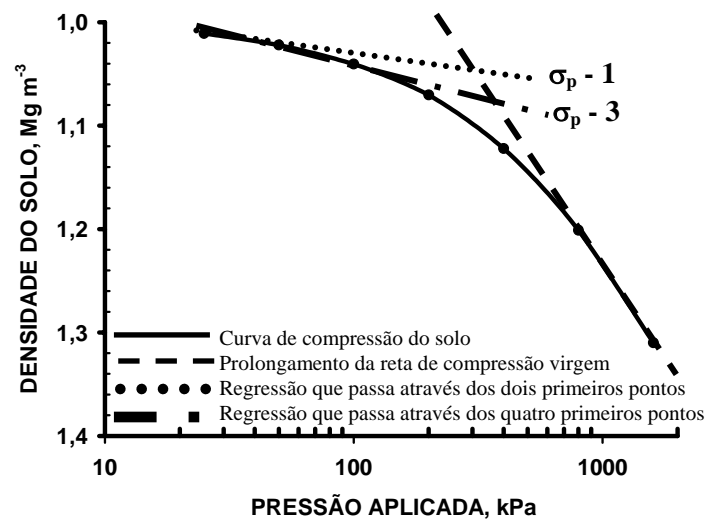


FIGURA 3 Curva de compressão do solo com o procedimento de Dias Junior & Pierce (1995) para o cálculo da pressão de preconsolidação. σ_p 1: método 1 para amostras com potencial matricial >-100 kPa e σ_p 3 método 3 para amostras com potencial matricial ≤ -100 kPa.

O método de Casagrande (1936) é ainda considerado método padrão para determinar a pressão de preconsolidação, apesar da subjetividade envolvida na sua determinação. Outros métodos de cálculo têm surgido, devido à subjetividade de se determinar o ponto de máxima curvatura pelo método de Casagrande, a exemplo do procedimento de cálculo da pressão de preconsolidação proposto por Dias Junior & Pierce (1995).

O procedimento de cálculo proposto por Dias Junior & Pierce (1995) considera a pressão de preconsolidação como sendo o intercepto entre o prolongamento da reta de compressão virgem associado com as tensões aplicadas na amostra de 800 e 1.600 kPa e uma linha de regressão da curva de compressão secundária a partir dos dois ou dos quatro primeiros pontos da curva de compressão do solo, métodos um e três, respectivamente (Figura 3).

O método de cálculo proposto por Dias Junior & Pierce (1995) apresenta como vantagem o cálculo da pressão de preconsolidação por meio de uma planilha eletrônica e utiliza procedimentos matemáticos, retirando a subjetividade da determinação do ponto de máxima curvatura.

2.4 Posição de amostragem e atributos físico-hídricos em lavouras perenes

A amostragem de solo em diferentes locais da lavoura cafeeira vem sendo utilizada, uma vez que ocorre uma variabilidade da resistência mecânica do solo e dos atributos químicos e físico-hídricos do solo. Tais variações são decorrentes da adoção diferencial de manejos na região da saia do cafeeiro, linha de tráfego e centro das entrelinhas dos cafeeiros. Em lavouras adultas, as regiões do centro das entrelinhas e saia do cafeeiro não são submetidas ao tráfego de máquinas, exceto em operações específicas que antecedem à colheita, como a arruação, que utiliza alguns equipamentos que agem na saia do cafeeiro e a própria operação de colheita com máquinas automotrizes ou tracionadas. Devido

ao manejo em zonas específicas da lavoura cafeeira, a amostragem se faz necessária em diferentes locais.

Em lavouras perenes, o aumento na resistência mecânica dos solos tem sido observado devido à sobreposição do tráfego de máquinas próximo à projeção da saia das plantas, promovendo deformações no solo, identificadas pela presença de sulcos nesta região (Fidalski et al., 2007). Em lavouras cafeeiras, esse aspecto pode ser nocivo ao desenvolvimento adequado do sistema radicular das plantas, uma vez que a propagação das tensões aplicadas à superfície do solo na linha de tráfego pode induzir maior resistência mecânica do solo na região de maior atividade das raízes sob a copa das plantas. Este fato está associado à área de trabalho para mecanização da cultura cafeeira, que é restrita a pequenas faixas existentes nas entrelinhas de plantio, o que obriga as máquinas a transitarem sempre no mesmo local (Carvalho Filho et al., 2004). No entanto, alterações estruturais no centro das entrelinhas de lavouras cafeeiras têm sido freqüentes, o que pode afetar a condutividade hidráulica do solo e, conseqüentemente, as taxas de infiltração de água durante as chuvas ou as irrigações (Timm et al., 2005, 2006), além de aumentos na resistência mecânica do solo atribuídos ao impacto direto das gotas de chuva e formação do encrostamento superficial (Alcântara & Ferreira, 2000a; Araujo Junior et al., 2008) ou redução na capacidade de suporte de carga do solo, promovida pela operação de subsolagem (Gontijo et al., 2008).

A amostragem na linha de tráfego das máquinas e equipamentos tem a finalidade de identificar possíveis restrições químicas, físicas e hídricas ao desenvolvimento adequado de plantas perenes (Fidalski et al., 2007). Por outro lado, a amostragem no centro das entrelinhas dos cafeeiros procura avaliar a influência do manejo de plantas invasoras nos atributos químicos, físico-hídricos e mecânicos do solo.

2.5 Efeitos do manejo de plantas invasoras em atributos químicos

O manejo de plantas invasoras em lavouras cafeeiras pode exercer significativa influência nos atributos químicos do solo (Alcântara et al., 2007) bem como na nutrição das plantas. Isso ocorre porque a disponibilidade de nutrientes para as plantas é influenciada pela aplicação de fertilizantes, além de ser induzida por outras práticas de manejo, como irrigação e controle de plantas invasoras (Smethurst, 2000).

Os diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras em lavouras cafeeiras podem exercer acúmulo diferencial de matéria orgânica, proporcionando alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Esse manejo só é sustentável se o manejo empregado mantiver a qualidade do solo ou proporcionar melhorias nele (Alcântara & Ferreira, 2000a). Se o ecossistema sofrer interferência que leve à perda de energia, redução da biodiversidade e retirada de nutrientes, ele terá sua sustentabilidade comprometida. Por outro lado, ecossistemas com entrada de nutrientes, manutenção da biodiversidade, equilíbrio biológico e conservação de energia terão sua sustentabilidade mantida (Moreira & Siqueira, 2006).

A matéria orgânica tem sido apontada como um indicador primário da qualidade do solo (Doran, 2002; Moreira & Siqueira, 2006), por atuar diretamente e indiretamente nos seus atributos físicos, químicos e biológicos e sobre as plantas. A manutenção da matéria orgânica pode contribuir para a ciclagem de nutrientes, o fluxo de nutrientes para as plantas. além de ser um importante constituinte para a agregação do solo.

As plantas são capazes de absorver nutrientes presentes em formas iônicas dissolvidas na fase aquosa que compõe a solução do solo. Um nutriente, para ser absorvido pela raiz, necessita ser transportado até a superfície radicular. Assim, o teor disponível de um dado nutriente, em função do fator transporte, depende de aspectos físicos do solo que afetam a mobilidade de íons, tais como

textura, compactação e umidade do solo (Furtini Neto et al., 2001). Nesse sentido, o manejo das plantas invasoras pode promover alterações na estrutura do solo, além de extração diferenciada de íons e nutrientes devido à diversidade de espécies de plantas invasoras presentes em lavouras cafeeiras, influenciando indiretamente a nutrição dos cafeeiros. No entanto, o manejo adotado também pode contribuir para a manutenção da matéria orgânica (Alcântara & Ferreira, 2000a; Yang et al., 2007), melhorando a estruturação do solo, podendo-se esperar um maior retorno econômico da cultura pelas melhorias na fertilidade do solo, na estabilização da estrutura e na nutrição da plantas.

Efeitos adversos da compactação podem estar relacionados a nutrição das plantas. Por exemplo, com a redução da aeração promovida pela compactação, o ciclo do nitrogênio é alterado devido a pequenos decréscimos na concentração de oxigênio, promovendo a desnitrificação (Batey & McKenzie, 2006) e reduzindo o nitrato prontamente disponível às plantas para formas gasosas que são perdidas por volatilização (Furtini Neto et al., 2001). Os efeitos podem ser observados pela perda da coloração verde com o surgimento de pigmentos amarelados nas folhas e conseqüente redução no crescimento das plantas (Batey & McKenzie, 2006).

Nos pomares cítricos, quando as plantas invasoras são incorporadas na projeção da copa, regiões estas de maiores concentrações do sistema radicular da cultura, as invasoras são decompostas lentamente pelos microrganismos, liberando nutrientes lentamente para o suprimento da cultura (Chen et al., 2004 apud Yang et al., 2007). Efeitos semelhantes em lavouras cafeeiras, juntamente com a ação do herbicida no solo, podem aumentar a disponibilidade de nutrientes para os cafeeiros, notadamente o fósforo, que se liga fortemente à superfície das partículas minerais por ligação covalente, sendo dificilmente trocado por outros ânions existentes na solução do solo. A aplicação de determinados herbicidas pré-emergentes pode atuar no complexo de troca,

disponibilizando PO_4^{-3} para as plantas e, ao mesmo tempo, atuar dispersando argila superficial, criando um encrostamento na superfície do solo, minimizando a evaporação da água e tornando-a mais disponível para as plantas. Dessa forma, o efeito do herbicida seria benéfico aos cafeeiros não só pelo seu efeito direto no controle das plantas invasoras, mas também pela maior disponibilização de água e de PO_4^{-3} para as plantas. No caso do fósforo, o fenômeno é de extrema importância, por reduzir a disponibilidade do nutriente, e devido à fixação de fosfato (Furtini Neto et al., 2001).

Outro aspecto relevante que deve ser levado em consideração para o manejo de plantas invasoras é que alguns princípios ativos de herbicidas, como paraquat e o glifosate, podem reduzir a decomposição de restos vegetais oriundos de plantas mortas por esses herbicidas (Moreira & Siqueira, 2006). Este aspecto pode ser positivo em algumas situações, como na proteção contra processos erosivos em culturas perenes nos trópicos, ajudando a manter a cobertura vegetal sobre o solo sobre o solo (Faria et al., 1998; Moreira & Siqueira, 2006).

Os diferentes sistemas de manejo das plantas daninhas em lavouras cafeeiras afetam ainda diferencialmente os componentes da acidez do solo, tais como pH, acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), alumínio trocável (Al^{3+}) e a saturação por alumínio (m%), nas camadas de 0-15 cm e de 15-30 cm (Alcântara et al., 2007). Avaliando os diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras, Alcântara et al. (2007) observaram que o tratamento sem capina (SCAP) tende a alcalinizar o solo, enquanto o tratamento herbicida de pré-emergência (HPRE) o acidifica. Esse acréscimo nos valores de pH foi atribuído ao maior incremento de matéria orgânica no tratamento sem capina (Alcântara & Ferreira, 2000a).

O comportamento observado por Alcântara et al. (2007) revela que, em média, o manejo de plantas invasoras utilizando herbicida de pré-emergência (HPRE) promove um aumento nos valores de acidez potencial, de alumínio

trocável e de saturação por alumínio, enquanto o tratamento sem capina (SCAP), por sua vez, reduz os componentes da acidez do solo. Já os demais sistemas de manejo empregados (roçadora, grade, enxada rotativa, herbicida de pós-emergência e capina manual) apresentam comportamento intermediário entre o sistema de manejo sem capina e herbicida de pré-emergência.

Apesar de alguns autores relatarem alterações químicas resultantes dos diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras, os estudos relacionando atributos químicos, físico-hídricos do solo alterando a nutrição das plantas são escassos na literatura. Além disso, as recomendações de adubações para lavouras cafeeiras são geralmente baseadas nas propriedades químicas do solo. Contudo, a quantidade de nutrientes extraída pelas plantas depende também da influência das propriedades físicas do solo. A absorção de nutrientes depende, e muito, da absorção de água (Resende et al., 1988). A estrutura de solos compactados pode oferecer dificuldades à penetração de raízes e, assim, limitar a absorção de água e de nutrientes (Resende et al., 1988).

2.6 Efeitos do manejo de plantas invasoras sobre a produtividade de lavouras cafeeiras

Ao contrário do que se postula, o manejo de plantas invasoras com métodos mecânicos tradicionalmente utilizados no passado, como a grade e a enxada rotativa, não tem efeitos deletérios à produção dos cafeeiros (Silveira et al., 1985). Apesar da intensa alteração e degradação da estrutura dos solos, proporcionadas pela grade e enxada rotativa, além de intensificação no processo erosivo, a produção dos cafeeiros sob o controle de plantas invasoras com esses métodos proporcionou produtividade comparável ao do solo manejado com herbicida de pré-emergência (Silveira et al., 1985). Apesar de esses métodos terem proporcionado maiores produtividades para a lavoura cafeeira, comparáveis ao método químico, não justifica a utilização constante da grade e

da enxada rotativa, pela perda da qualidade ambiental e degradação do solo. Por outro lado, a grade pode ser utilizada esporadicamente para o controle de plantas invasoras nos períodos que antecedem a estação seca do ano. Observações de campo têm demonstrado que uma gradagem no período que antecede a estação seca reduz a perda de água do solo por capilaridade pela quebra da continuidade dos poros, sendo muito útil para o manejo nesta condição específica.

Os cafeeiros sob o solo manejado com roçadoras e capina manual, apesar de apresentarem produção inferior, quando comparado com os métodos de manejo como enxada rotativa, grade e herbicida de pré-emergência (Silveira et al., 1985; Alcântara & Ferreira, 2000a), proporcionam maior qualidade ambiental e sustentabilidade do solo.

A menor produção dos cafeeiros, proporcionada pela utilização dos métodos roçadora e capina manual, foi observada por diversos autores (Silveira et al., 1985; Alcântara & Ferreira, 2000b, 2009; Alcântara et al., 2008). Silveira et al. (1985) ressaltam que era de se esperar menor produção dos cafeeiros, proporcionada pela roçadora ao longo dos anos, devido à presença das plantas invasoras no centro das entrelinhas dos cafeeiros, as quais competem por água e nutrientes com a lavoura. Apesar de Silveira et al. (1985) ressaltarem que, antes do início da estação seca (inverno), as plantas invasoras devem ser eliminadas com o auxílio de herbicida para se evitar a concorrência com os cafeeiros pela água durante o inverno, a presença de plantas invasoras em lavouras cafeeiras na estação seca, mesmo que no centro das entrelinhas, traz sérios prejuízos (Silveira & Kurachi, 1985), pela redução na produtividade (Alcântara & Ferreira, 2000b).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJAYI, A. E.; DIAS JUNIOR, M. de S.; CURI, N.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; SOUZA, T. T. T.; INDA JUNIOR, A. V. Strength attributes and compaction susceptibility of Brazilian Latosols. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 1, p. 122–127, Sept. 2009a.

AJAYI, A. E.; DIAS JUNIOR, M. de S.; CURI, N.; GONTIJO, I.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; INDA JUNIOR, A. V. Relation of strength and mineralogical attributes in Brazilian latosols. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, n. 1, p. 14–18, Jan. 2009b.

AKKER, J. J. H. van den; SOANE, B. Compaction. In: HILLEL, D.; ROSENZWEIG, C.; POWLSON, D.; SCOW, K.; SINGER, M.; SPARKS, D. **Encyclopedia of soils in the environment**. New York: Academic, 2005. v. 1, p. 285–293.

ALAKUKKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W. C. T.; TIJINK, F. G. J.; LINDEN, J. P. van der; PIRES, S.; SOMMER, C.; SPOOR, G. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review: part I - machine/soil interactions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, n. 1/2, p. 145-160, Oct. 2003.

ALCÂNTARA, E. N.; CUNHA, R. L. da; SILVA, R. A. Manejo de mato em cafeeiro: métodos e coeficientes técnicos utilizados. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 247, nov./dez. 2008.

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeito de diferentes métodos de controle de plantas daninhas sobre a produção de cafeeiros instalados em Latossolo Roxo distrófico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 1, p. 54-61, jan. 2000a.

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeito de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica L.*) sobre a qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 711-721, out./dez. 2000b.

ALCÂNTARA, E. N.; NÓBREGA, J. C. A.; FERREIRA, M. M. Métodos de controle de plantas invasoras na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica L.*) e componentes da acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1525–1533, nov./dez. 2007.

ARAÚJO JUNIOR, C. F.; DIAS JUNIOR, M. S. de; GUIMARÃES, P. T. G.; PIRES, B. S. Resistência à compactação de um Latossolo cultivado com cafeeiro, sob diferentes sistemas de manejos de plantas invasoras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 25–32, jan./fev. 2008.

ARVIDSSON, J.; KELLER, T. Soil precompression stress: I. A survey of swedish arable soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 85–95, May 2004.

BATEY, T.; MCKENZIE, D. C. Soil compaction: identification directly in the field. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 22, n. 2, p. 123–131, June 2006.

BERLI, M.; KIRBY, J. M.; SPRINGMAN, S. M.; SCHULIN, R. Modelling compaction of agricultural subsoils by tracked heavy construction machinery under various moisture conditions in Switzerland. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, n. 1/2, p. 57–66, Oct. 2003.

CARVALHO FILHO, A.; SILVA, R. P. da; FERNANDES, A. L. T. **Compactação do solo em cafeicultura irrigada**. Uberaba: Universidade de Uberaba, 2004. 44 p. (Boletim técnico, n. 3).

CARVALHO, R.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; SOUZA, F. S. de. Erosão hídrica em Latossolo Vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1679-1687, nov./dez. 2007.

CASAGRANDE, A. The determination of the pre-consolidation load and its practical significance. In: CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 1936, Cambridge. **Proceedings...** Cambridge: MA Harvard University, 1936. v. 3, p. 60-64.

CORRÊA, S.; REETZ, E. R.; SANTOS, C.; SILVEIRA, D. da; CARVALHO, C. de; BELING, R. R. Café do amanhã. In: BELING, R. R. (Ed.). **Anuário brasileiro do café**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2009. p. 20-91.

DIAS JUNIOR, M. de S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 55-94.

DIAS JUNIOR, M. de S. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic**. 1994. 114 p. Thesis (Ph.D. in Crop and Soil Science) - Michigan State University, East Lansing.

DIAS JUNIOR, M. de S.; LEITE, F. P.; LASMAR JUNIOR, E.; ARAUJO JUNIOR, C. F. Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to *Eucalyptus* harvest operations. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 248-255, maio/jun. 2005.

DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F. J. Revisão de literatura: o processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 175-182, jan./mar. 1996.

DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F. J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, Lansing, v. 8, n. 2, p. 139-151, Nov. 1995.

DORAN, J. W. Soil health and global sustainability: translating science into practice. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 88, n. 2, p. 119-127, Feb. 2002.

FARIA, J. C.; SHAEFER, C. E. R.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M. Effects of weed control on physical and micropedological properties of brazilian ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 3, p. 731-741, jul./set. 1998.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SCAPIM, C. A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho cultivado com citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 9-19, jan./fev. 2007.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R. do; RESENDE, A. V. de; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. de A. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

GONTIJO, I.; DIAS JUNIOR, M. de S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ARAUJO JUNIOR, C. F. Atributos físico-hídricos de um Latossolo de cerrado em diferentes posições de amostragem na lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 2227-2234, nov./dez. 2008.

GREGORY, A. S.; WHALLEY, W. R.; WATTS, C. W.; BIRD, N. R. A.; HALLETT, P. D.; WHITMORE, A. P. Calculation of the compression index and precompression stress from soil compression test data. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 89, n. 1, p. 45-57, Aug. 2006.

HOLTZ, R. D.; KOVACS, W. D. **An introduction to geotechnical engineering**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1981. 733 p.

HORN, R. Compressibility of arable land. **Catena**, Amsterdam, v. 11, p. 53-71, 1988. Supplement.

HORN, R.; VOSSBRINK, J.; BECKER, S. Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, n. 2, p. 207-219, Dec. 2004.

KELLER, T.; DÉFOSSEZ, P.; WEISSKOPF, P.; ARVIDSSON, J.; RICHARD, G. *Soilflex*: a model for prediction of soil stresses and soil compaction due to agricultural field traffic including a synthesis of analytical approaches. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, n. 2, p. 391-411, Apr. 2007.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 211-218, abr./jun. 1999.

KURACHI, S. A. H.; SILVEIRA, G. M. da. **Compactação do solo em cafezal provocada por diferentes métodos de cultivo**. Campinas: IAC, 1984. 28 p. (Boletim do Instituto Agrônomo de Campinas).

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C.; USECHE, R. A. Compression of agricultural soil from eight soil orders. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 3, p. 450-457, May/June 1980.

LEBERT, M.; BÖKEN, H.; GLANTE, F. Soil compaction – indicators for assessment of harmful changes to the soil in the context of the German Federal soil protection act. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 82, n. 3, p. 388-397, Feb. 2007.

LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, n. 2/3, p. 575–286, Feb. 1991.

MARSHALL, T. J. The nature, development and significance of soil structure. In: NEALE, G. J. (Ed.). **Transactions of joint meeting of commissions IV e V (ISSS)**. Palmerston North: New Zealand Society of Soil Science, 1962. p. 243–257.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. atual. e ampl. Lavras: Ed. UFLA, 2006. 729 p.

OLIVEIRA, G. C. de; DIAS JUNIOR, M. de S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 291-299, fev. 2003.

PAGLIAI, M. **Soil structure**. Trieste: College on Soil Physics, International Centre for Theoretical Physics, 2007. 27 p. Lecture Notes.

PENG, X. H.; HORN, R.; ZHANG, B.; ZAHO, Q. G. Mechanisms of soil vulnerability to compaction of homogenized and recompactd Ultisols. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 2, p. 125-137, Apr. 2004.

RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D. P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Brasília: Ministério da Educação/ESAL/POTAFOS, 1988. 84 p.

RONCHI, C. P.; SILVA, A. A. da; FERREIRA, L. R. **Manejo de plantas daninhas em lavouras de café**. Viçosa, MG: Suprema, 2001. 94 p.

SILVA, A. J. N. da; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 921-930, nov./dez. 2006.

SILVA, A. R.; DIAS JUNIOR, M. de S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ARAUJO JUNIOR, C. F. Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos efeitos das operações mecanizadas em um latossolo amarelo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 207-216, jan./fev. 2006.

SILVEIRA, G. M. da; KURACHI, S. A. O sistema de cultivo e a estrutura do solo em cafezal: parte II. **Bragantia**, Campinas, v. 44, n. 1, p. 179-185, jun. 1985.

SILVEIRA, G. M. da; KURACHI, S. A. H.; FUJIWARA, M. Métodos mecânicos e químico no controle de ervas daninhas em cafezal. **Bragantia**, Campinas, v. 44, n. 1, p. 173-178, jun. 1985.

SMETHURST, P. J. Soil solution and other soil analyses as indicator of nutrient supply: a review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 138, n. 1/3, p. 397-411, Nov. 2000.

SOANE, B. D. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, n. 1/2, p. 179-201, Apr. 1990.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Glossary of soil science terms**. Madison, 2008. 84 p.

SOUZA, I. F.; MELLES, C. do C. A. Controle de plantas daninhas. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 401-409.

TIMM, L. C.; PIRES, L. F.; REICHARDT, K.; ROVERATTI, R.; OLIVEIRA, J. C. M.; BACCHI, O. O. S. Soil bulk density evaluation by conventional and nuclear methods. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 43, p. 97-103, 2005.

TIMM, L. C.; PIRES, L. F.; ROVERATTI, R.; ARTHUR, R. C. J.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J. C. M.; BACCHI, O. O. S. Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 1, p. 55-64, jan./fev. 2006.

VOGELER, I.; HORN, R.; WETZEL, H.; KRÜMMELBEIN, J. Tillage effects on soil strength and solute transport. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 88, n. 1/2, p. 193-204, July 2006.

YANG, Y.; WANG, H.; TANG, J.; CHEN, X. Effects of weed management practices on orchard soil biological and fertility properties in southeastern China. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, n. 1, p. 179-185, Mar. 2007.

ZHANG, B.; HORN, R.; HALLETT, P. D. Mechanical resilience of degraded soil amended with organic matter. **Soil Science Society American of Journal**, Madison, v. 69, n. 3, p. 864-871, May 2005.

CAPÍTULO 2

CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA E UMIDADE CRÍTICA DE UM LATOSSOLO, INDUZIDA POR DIFERENTES MANEJOS NAS ENTRELINHAS DE UMA LAVOURA CAFEIEIRA

(Preparado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo)

1 RESUMO

Os diferentes manejos de plantas invasoras em lavouras cafeeiras têm promovido alterações estruturais aos solos, comprometendo a sua qualidade física. Assim sendo, o conhecimento da capacidade de suporte de carga do solo sob diferentes manejos de plantas invasoras é essencial para o manejo sustentável de lavouras cafeeiras. Este estudo foi realizado com os objetivos de: a) avaliar a influência da adoção, durante 30 anos, de diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras na capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) cultivado com cafeeiros, localizado na Fazenda da Epamig em São Sebastião do Paraíso, MG (Latitude de 20°55'00'' S e Longitude 47°07'10'' W de Greenwich, à altitude de 885 m); b) determinar a tensão máxima (σ_{\max}) aplicada ao solo pelo trator Valmet® 68 cafeeiro e c) estabelecer os teores de água críticos ($\theta_{\text{crítica}}$) para o tráfego do trator Valmet® 68 cafeeiro. Os manejos de plantas invasoras avaliados foram: sem capina (SCAP), capina manual (CAPM), herbicida de pós-emergência (HPOS), roçadora (ROÇA), enxada rotativa (ENRT), grade (GRAD) e herbicida de pré-emergência (HPRE). Em cada manejo de plantas invasoras, 15 amostras indeformadas de solo foram coletadas aleatoriamente no centro das entrelinhas dos cafeeiros, nas profundidades 0-3 cm, 10-13 cm e 25-28 cm, totalizando 315 amostras. Em uma mata nativa sob LVdf, adjacente à área de estudo, foram coletadas 15 amostras adicionais por profundidade, as quais serviram de referência para os atributos avaliados. Os equipamentos utilizados no manejo da lavoura cafeeira foram tracionados por um trator marca Valmet® modelo 68 cafeeiro. As amostras indeformadas foram utilizadas para determinar a pressão de preconsolidação (σ_p) em diferentes umidades volumétricas (θ), densidade do solo (D_s) e capacidade de campo (C_c). A partir do excedente das amostras indeformadas, foram determinados textura, carbono orgânico do solo (CO) e teor de óxidos. Modelos de capacidade de suporte de carga (CSC) do tipo $\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$ entre pressão de preconsolidação e umidade volumétrica foram obtidos para verificar os possíveis efeitos dos diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras na estrutura do solo. A tensão máxima aplicada pelo trator Valmet® 68 cafeeiro foi de 220 kPa para o pneu dianteiro 6-16 na pressão de inflação de 172 kPa. O menor valor de $\theta_{\text{crítica}}$ foi de 0,27 cm³ cm⁻³ para o LVdf sob o manejo SCAP, na profundidade de 0-3 cm e o maior valor foi de 0,48 cm³ cm⁻³ para o solo sob o manejo HPRE, na profundidade 0-3 cm. O manejo de plantas invasoras utilizando GRAD e HPRE favorece a formação do encrostamento superficial e incrementos dos valores de D_s e de CSC na profundidade de 0-3 cm.

Palavras-chave: plantas invasoras; distribuição de tensões; carbono orgânico do solo; umidade crítica; métodos mecânicos e químicos.

2 ABSTRACT

The different weed management in coffee crop has introduced structural changes to the soil compromising their physical quality. Therefore, knowledge of bearing capacity of the soil under different weed management is essential to determine the levels of pressure that the soil can be submitted in given moisture without additional compaction occurs. The objectives of this study were: a) to access the influence of adoption for 30 years of different weed management systems in the bearing capacity of a Dystriferric Red Latosol (LVdf) cultivated with coffee plants, located in Epamig Farm in São Sebastião do Paraíso, MG (Latitude 20° 55'00"S and Longitude 47° 07'10"W Greenwich at an altitude of 885 m), b) to determine the maximum stress (σ_{\max}) applied to the soil by a coffee tractor Valmet 68[®] c) to establish the critical water content (θ_{critical}) for the traffic of a coffee tractor Valmet 68[®] coffee. The weed managements evaluated were: without hoe (SCAP), manual hoe (CAPM), post-emergence herbicide (HPOS); mower (ROÇA), rotary tiller (ENRT), coffee tandem disk harrow (GRAD) and pre-emergence herbicide (HPRE). In each weed management 15 undisturbed soil samples were collected randomly in the inter-rows of coffee plants in the 0–3, 10–13 and 25–28 cm depths totaling 315 samples. In a native forest adjacent to the LVdf in the study area 15 additional samples were collected per depth which served as reference for the attributes. The equipments used in the management of the coffee plantation were pulled by a coffee tractor Valmet Model 68[®]. The undisturbed soil samples were used to determine the precompression stress (σ_p) at different volumetric water content (θ), bulk density (Ds) and field capacity (CC). From the excess of the undisturbed soil samples texture, soil organic carbon (CO) and oxides were determined. Load bearing capacity models (CSC) of type $\sigma_p = 10^{(a + b\theta)}$ between precompression stress and volumetric water content were obtained to verify the possible effects of different weed management systems on the soil structure. The maximum stress applied by a coffee tractor Valmet 68[®] was 220 kPa for the front tire to 6-16 for the inflation pressure of 172 kPa. The lowest value of critical moisture was 0.27 cm³ cm⁻³ for the LVdf under management SCAP at 0-3 cm depth and the highest value was 0.48 cm³ cm⁻³ to the soil under the management HPRE at 0-3 cm depth. The weed management using GRAD and HPRE favors the formation of surface crusting and increases the values of bulk density and bearing capacity at 0-3 cm a depth

Key words: weed plants; stress distribution; organic carbon; critical water content; chemical and mechanical methods.

3 INTRODUÇÃO

O café é uma das principais commodities produzidas no Brasil, que é país responsável pelo abastecimento de cerca de 30% do mercado mundial. O agronegócio café um dos principais responsáveis pela geração de empregos, de renda e de desenvolvimento nas regiões de cultivo.

Minas Gerais é o principal estado produtor brasileiro, respondendo por cerca de 50% da produção nacional. Lidera também os trabalhos de pesquisa, que resultam em novas tecnologias, logo incorporadas aos sistemas de produção (Corrêa et al., 2009), garantindo a eficiência, a produtividade e a qualidade do produto. Desse modo, vão sendo modernizadas as estruturas dos sistemas de produção e do manejo das lavouras, garantindo uma produção socialmente justa, ambientalmente sustentável, economicamente viável e culturalmente aceitável.

Os diferentes manejos de plantas invasoras em lavouras cafeeiras têm promovido alterações estruturais nos solos cultivados com cafeeiros, alterando diversos atributos do solo, dentre os quais se destacam a densidade, a estabilidade de agregados em água e o teor de carbono orgânico do solo (Alcântara & Ferreira, 2000), que podem influenciar o comportamento compressivo dos mesmos, aumentando o risco de compactação quando esses solos são trafegados por máquinas e implementos.

Alterações estruturais nas entrelinhas dos cafeeiros têm sido frequentes, resultantes das operações de manejo de plantas invasoras e do tráfego eventual de máquinas. Tais alterações na estrutura do solo nas entrelinhas dos cafeeiros podem afetar a condutividade hidráulica do solo e as taxas de infiltração de água, durante as chuvas ou irrigação (Timm et al., 2005, 2006).

Herbicidas e capinas mecânicas são as práticas dominantes no controle de plantas invasoras, em muitos sistemas produtivos (Yang et al., 2007), inclusive em lavouras cafeeiras. Métodos mecânicos de controle de plantas invasoras,

como a grade e a enxada rotativa, tendem a promover a compactação abaixo da profundidade de trabalho do equipamento, além de favorecer a erosão do solo pelo revolvimento intenso (Kurachi & Silveira, 1984). Esse efeito é agravado quando o tráfego de máquinas e equipamentos é realizado em condições inadequadas de umidade e as tensões aplicadas ao solo excederem sua capacidade de suporte de carga, expressa pela pressão de preconsolidação (Dias Junior & Pierce, 1996; Kondo & Dias Junior, 1999b; Dias Junior, 2000; Horn et al., 2004; Akker & Soane, 2005; Lebert et al., 2007).

A capacidade de suporte de carga é definida como a capacidade da estrutura do solo em resistir a tensões induzidas pelo tráfego de máquinas ou pisoteio animal, sem mudanças no arranjo tridimensional das partículas constituintes do solo (Alakukku et al., 2003), em uma determinada umidade ou potencial matricial.

Neste estudo, buscou-se definir a umidade volumétrica crítica para o tráfego de máquinas e equipamentos, na qual a capacidade de suporte de cargas do solo, expressa pela pressão de preconsolidação, é igual à tensão máxima exercida por um trator. Lebert et al. (2007) sugerem que a distribuição das tensões aplicadas pelas máquinas agrícolas sejam determinadas em duas umidades, nas sucções de água $pF 1,8 = 6 \text{ kPa}$ e $pF 2,5 = 33 \text{ kPa}$, que representam dois níveis de capacidade de campo e o maior risco de compactação durante as operações agrícolas mecanizadas. Todavia, em qualquer condição de umidade e manejo, se as tensões aplicadas pelas máquinas e equipamentos ao solo forem maiores do que a pressão de preconsolidação, a probabilidade de o processo de compactação do solo ocorrer é grande, em decorrência da destruição da estrutura do solo (Kondo & Dias Junior, 1999b).

De acordo com Kondo & Dias Junior (1999b), o limite de plasticidade pode ser utilizado como a umidade máxima na qual as operações mecanizadas

podem ocorrer. No entanto, estes autores ressaltam que se deve levar em consideração a aplicação das tensões exercidas pelos equipamentos.

Portanto, o entendimento de como os manejos de plantas invasoras influenciam a capacidade de suporte de carga e o conhecimento dos níveis de pressões aplicados ao solo pelos equipamentos torna-se essencial para a adequação do manejo em lavouras cafeeiras. Diante dessas considerações, este estudo foi realizado com os objetivos de: a) avaliar a influência da adoção dos diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras na capacidade de suporte de carga e na resistência mecânica de um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) em um experimento de longa duração; b) determinar a tensão máxima aplicada ao solo pelo trator Valmet[®] 68 cafeeiro utilizado no manejo da lavoura cafeeira e c) estabelecer os teores de água no solo nos quais o trator cafeeiro Valmet[®] 68 pode trafegar, sem promover compactação adicional no LVdf submetido aos diferentes manejos de plantas invasoras.

4.1 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (Epamig), localizada no município de São Sebastião do Paraíso, na mesorregião sul e sudoeste de Minas Gerais, à latitude de 20°55'00'' S e longitude 47°07'10'' W de Greenwich e altitude de 885 m. O relevo na área experimental é classificado como suave ondulado (8% de declividade), o que possibilita ampla mecanização do solo. A região apresenta precipitação média anual de 1.470,4 mm, temperatura média anual de 20,8°C, temperatura média máxima de 27,6°C e média mínima de 14,1°C.

O solo da área de estudo e o da mata nativa são classificados como Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf) textura argilosa e mineralogia gibbsítica (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, 2006) originado de basalto (Tabela 1).

A área experimental foi plantada com cafeeiros da cultivar Catuaí Vermelho LCH 2077-2-5-99, no espaçamento de 4 x 1 m, no ano de 1974. O experimento foi instalado no ano de 1977, em delineamento experimental de blocos casualizados, com sete tratamentos e três repetições. Cada condição de manejo foi aplicada em três entrelinhas de 36 m de comprimento por 2,4 m de largura. As linhas de plantio foram mantidas sempre limpas, por meio de capina manual ou da aplicação de herbicidas.

Em 26 de dezembro de 2005, devido ao declínio de produção da lavoura implantada no ano de 1974, a mesma foi substituída por outra da cultivar Paraíso. A lavoura anterior retirada da área com o auxílio de um subsolador e, posteriormente, fez-se o sulcamento no mesmo local da linha de plantio anterior. Essas operações foram realizadas deixando intacto o efeito dos tratamentos ao longo dos anos nas entrelinhas.

TABELA 1 Teores de óxidos totais extraídos pelo ataque sulfúrico e granulometria do Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) sob mata nativa e cultivado com cafeeiros, localizado na Epamig, São Sebastião do Paraíso, MG.

Uso	Óxidos					Granulometria ⁽³⁾		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki ⁽¹⁾	Kr ⁽²⁾	Argila	Silte	Areia
	-----g kg ⁻¹ -----							
Mata nativa	78	250	260	0,53	0,32	600	200	200
Cafeeiros	70	250	270	0,47	0,28	560	230	210

⁽¹⁾Ki: relação molecular SiO₂/Al₂O₃ x 1,7; ⁽²⁾Kr: 1,7 x SiO₂/[Al₂O₃ + (Fe₂O₃ x 0,6375)];

⁽³⁾Média de três repetições.

4.2 Condução do experimento

A correção e as adubações organo-minerais de plantio em 2006 foram realizadas adicionando-se 200 g m⁻¹ linear de calcário dolomítico, 200 g m⁻¹ linear de gesso agrícola, 5 L m⁻¹ linear de palha de café e 400 g m⁻¹ de super fosfato simples.

As operações de controle de plantas invasoras foram efetuadas quando se observava 90% da área coberta pelas plantas invasoras e estas apresentavam cerca de 45 cm de altura (Alcântara & Ferreira, 2000). Assim, o número médio de operações necessárias para o controle satisfatório das plantas invasoras durante o ano variou de acordo com o método adotado (Tabela 2), sendo:

a) sem capina (SCAP): as plantas invasoras foram deixadas em livre crescimento nas entrelinhas dos cafeeiros;

b) capina manual (CMAN): realizada com o auxílio de enxada. Quando as plantas invasoras atingiam a altura de 45 cm, em média, foram realizadas cinco operações anuais;

c) herbicida de pós-emergência (HPOS): Glyphosate foi aplicado com o auxílio de uma bomba costal, na dose de 2,0 L.ha⁻¹ de produto comercial e 0,72 kg ha⁻¹ de ingrediente ativo na formulação de concentrado solúvel, 360 g L⁻¹ e aplicado com um volume de calda de 400 L ha⁻¹;

d) roçadora (ROÇA): o equipamento utilizado foi uma roçadora da marca Kamaq[®] modelo KD 132, com largura de corte 1,32 m, massa estática de 340 kg que foi acoplado ao sistema hidráulico de três pontos de um trator Valmet[®] modelo 68 cafeeiro;

e) enxada rotativa (ENRT), o equipamento foi acoplado ao sistema hidráulico de três pontos de um trator Valmet[®] modelo 68 cafeeiro. O eixo da enxada rotativa tem cinco flanges, sendo as duas laterais com três facas e as três centrais, com seis facas cada uma. Sua profundidade de trabalho foi de, aproximadamente, 15 cm;

f) grade (GRAD), o equipamento é composto de duas seções dispostas em tandem e cada seção é equipada com sete discos lisos com largura de corte de 1,3 m, com massa estática de 300 kg, que foi acoplado ao sistema hidráulico de três pontos de um trator Valmet® modelo 68 cafeeiro. Sua profundidade de trabalho foi de, aproximadamente, 10 cm;

g) herbicida de pré-emergência (HPRE), ingrediente ativo oxyfluorfen (2-cloro-a,a,a-trifluoro-p-tolyl-3-ethoxy-4-nitrophenyl ether), na dose de 2,0 kg ha⁻¹ de produto comercial e 0,48 kg ha⁻¹ de ingrediente ativo na formulação de concentrado emulsionável, 240 g L⁻¹ (Rodrigues & Almeida, 2005), aplicado a um volume de calda de 400 L ha⁻¹. Para esta aplicação, cuidou-se para que o solo estivesse livre de restos culturais e plantas invasoras.

Todos os equipamentos utilizados no manejo da lavoura cafeeira foram tracionados por um trator cafeeiro marca Valmet® modelo 68 massa 3.900 kg, peso 38.245 N, obtido pela expressão (3.900 kg x 9,80665 m s⁻²), pneus traseiros 12.4-R28 (31,5 cm de largura por 71 cm de diâmetro na pressão de inflação 18 psi = 124 kPa) e pneus dianteiros 6-16 (15,2 cm de largura por 41 cm de diâmetro na pressão de inflação 25 psi = 172 kPa). Os bulbos de tensão e a tensão máxima exercida pelos diferentes rodados em diferentes condições do solo e profundidade de preparo foram obtidos utilizando-se o programa TASC (Diserens, 2005).

TABELA 2 Manejos das plantas invasoras, número de operações realizadas no período de janeiro de 2006 a dezembro de 2007, espécie, nome comum e família das plantas invasoras encontradas na área na ocasião da amostragem.

Manejos	Operações	Espécies das plantas invasoras/nome comum/família
Sem capina (SCAP)	0	<i>Marmodica charantia</i> L., melão-de-são-caetano, Cucurbitaceae; <i>Ephorbia heterophylla</i> L., leiteira, Euphorbiaceae; <i>Digitaria insularis</i> (L.) Mea ex Ekman, capim-amargoso, Poaceae; <i>Panicum maximum</i> Jacq., capim-colonião, Poaceae; <i>Nicandra physaloides</i> Gaertn., joá-de-capote, Solanaceae; <i>Ipomoea acuminata</i> , corda-de-viola, Convolvulaceae; <i>Amaranthus viridis</i> , caruru-de-mancha, Amaranthaceae.
Capina manual (CAPM)	8	<i>Ephorbia heterophylla</i> L., leiteira, Euphorbiaceae; <i>Digitaria horizontalis</i> Willd., capim-colchão, Poaceae; <i>Cenchrus echinatus</i> L., timbête, Poaceae.
Herbicida de pós-emergência (HPOS)	8	<i>Amaranthus viridis</i> (caruru-de-mancha, Amaranthaceae); <i>Commelina benghalensis</i> L. (trapoeraba, Commelinaceae).
Roçadora (ROÇA)	9	<i>Cyperus rotundus</i> L, tiririca, Cyperaceae; <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers., grama-seda, Poaceae; <i>Amaranthus viridis</i> , caruru-de-mancha, Amaranthaceae; <i>Brachiaria decumbens</i> Stapf., braquiária, Poaceae.
Enxada rotativa (ENRT)	8	<i>Cyperus rotundus</i> L, tiririca, Cyperaceae; <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers., grama-seda, Poaceae; <i>Bidens pilosa</i> L., picão-preto, Compositae.
Grade (GRAD)	8	<i>Cyperus rotundus</i> L, tiririca, Cyperaceae; <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers., grama-seda, Poaceae; <i>Brachiaria plantaginea</i> (Link) Hitchc., marmelada, Poaceae.
Herbicida de pré-emergência (HPRE)	6	Ausência de plantas invasoras na ocasião da amostragem



FIGURA 1 Aspecto geral da lavoura cafeeira na ocasião da amostragem, em dezembro de 2007, sob as parcelas sem capina (A) e herbicida de pré-emergência (B). Em detalhe, a dificuldade de infiltração de água no solo no centro da entrelinha, na parcela herbicida de pré-emergência após uma chuva.

4.3 Amostragem

Amostras de solo com estrutura indeformada foram coletadas entre as datas 17/12/2007 e 23/12/2007. Para cada manejo de plantas invasoras foram coletadas 15 amostras indeformadas aleatoriamente distribuídas, nas profundidades 0-3, 10-13 e 25-28 cm, na posição de amostragem centro das entrelinhas dos cafeeiros, totalizando 315 amostras [15 amostras x 3 profundidades x 7 sistemas de manejo de plantas invasoras]. Além da amostragem realizada na lavoura cafeeira, foram obtidas, adicionalmente, 45 amostras indeformadas [15 amostras x 3 profundidades], em uma mata nativa também sob um LVdf adjacente à área de estudo, as quais serviram como referência para comparação dos atributos físico-hídricos e químicos avaliados.

As amostras indeformadas foram coletadas utilizando um amostrador de Uhland e anéis de alumínio de 2,50 cm de altura por 6,30 cm de diâmetro. Em seguida, as amostras foram embaladas em filme plástico (PVC) e parafinadas para a preservação da estrutura e transportadas até o laboratório.

4.4 Análises de laboratório

Os teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 foram determinados após digestão com H_2SO_4 (9,4 M) (Embrapa, 1997).

Os índices de intemperismo K_i e K_r foram calculados pelas relações moleculares propostas por Resende & Santana (1988).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (Day, 1965), utilizando como dispersante químico 50 ml de NaOH a 0,1N, em contato com a amostra durante 24 horas. A dispersão mecânica foi realizada com a adição de 20 g de areia grossa e agitação lenta durante 4 horas, em agitador do tipo Wiegner, com velocidade de 30 rotações por minuto (Grohmann & Raij, 1977).

Os teores de carbono orgânico do solo foram determinados pelo método da combustão via úmida, com oxidação do carbono orgânico pela adição de 10

mL de solução digestora de dicromato de sódio e ácido sulfúrico ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 4 N + H_2SO_4 10 N) (Raij et al., 1987).

No laboratório, as amostras foram moldadas com o auxílio de uma faca para que o volume do solo correspondesse ao volume do anel. Três amostras por profundidade de cada tratamento foram mantidas em uma bandeja com água destilada até 2/3 da altura, para que ocorresse o preenchimento dos poros com água por capilaridade até a saturação das mesmas, sendo este ponto atingido, em média, após 24 horas. Essas amostras foram submetidas ao potencial mátrico – 6 kPa (60 cm de coluna de água) em funil de Buchner (Dane & Hopmans, 2002), assumido como valor correspondente à capacidade de campo (Mello et al., 2002).

O restante das amostras de cada tratamento foi seco ao ar, em laboratório, para o equilíbrio em diferentes umidades volumétricas. Após atingir o equilíbrio, essas amostras indeformadas foram pesadas para a determinação da massa de solo úmida e submetidas ao ensaio de compressão uniaxial (Bowles, 1986; Dias Junior, 1994). Para a realização do ensaio de compressão uniaxial, as amostras indeformadas foram mantidas nos cilindros de alumínio e estes mantidos dentro da célula de compressão e, subsequentemente, submetidos às pressões crescente de 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa, em um consolidômetro Durham Geo Slope Indicator® modelo S-450 Terraload. Cada pressão foi aplicada até obter 90% da deformação máxima (Taylor, 1948). Após a liberação da pressão, as amostras foram secas em estufa, a 105°-110°C, por 48 horas, e determinada a massa seca do solo. A densidade do solo foi calculada de acordo com Grossman & Reinsch (2002). A umidade volumétrica foi obtida conforme a equação 1 (Topp & Ferré, 2002).

$$\theta = \left(\frac{M_a}{M_s} \right) \times D_s \quad [\text{eq. 1}]$$

em que θ é a umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), Ma é a massa de água (g), Ms é a massa de solo seco (g) e Ds é a densidade do solo (g cm^{-3}).

A pressão aplicada às amostras indeformadas versus a densidade do solo foram utilizadas para a construção das curvas de compressão do solo, em que, no eixo das abscissas (X), colocou-se a pressão aplicada em escala logarítmica e, no eixo das ordenadas (Y), a densidade do solo (Larson et al., 1980). A elaboração das curvas de compressão do solo e o valor da pressão de preconsolidação (σ_p) para cada amostra foram obtidos utilizando-se o método proposto por Dias Junior & Pierce (1995).

Aos valores de pressão de preconsolidação (σ_p), os valores de umidade volumétrica (θ) foram ajustados uma regressão exponencial decrescente do tipo [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$], proposta por Dias Junior (1994). As letras, “a” e “b” representam os parâmetros empíricos de ajuste do modelo, ou seja, o coeficiente linear e angular para a regressão linearizada, respectivamente. Esta relação entre pressão de preconsolidação e umidade (ou qualquer outra medida que se relaciona com o conteúdo de água no solo) é conhecida como modelo de capacidade de suporte de carga do solo.

4.5 Análises estatísticas

As regressões para a obtenção dos modelos de capacidade de suporte de carga foram realizadas utilizando-se o programa SigmaPlot (2006). As comparações entre os modelos foram feitas utilizando-se o teste de homogeneidade de modelos lineares, descrito por Snedecor & Cochran (1989). Para a obtenção dos modelos lineares a partir do modelo exponencial [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$], aplicou-se o logaritmo nos valores de pressão de preconsolidação, resultando em uma equação do tipo $\log \sigma_p = a + b\theta$. O teste de homogeneidade de modelos lineares considera dois modelos e estes são comparados pela análise do intercepto “a”, do coeficiente angular “b” e homogeneidade dos dados (F).

Os resultados das análises de densidade do solo e carbono orgânico do solo foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias feita pelo teste de Scott Knott, utilizando-se o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2000).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Densidade do solo e carbono orgânico do solo

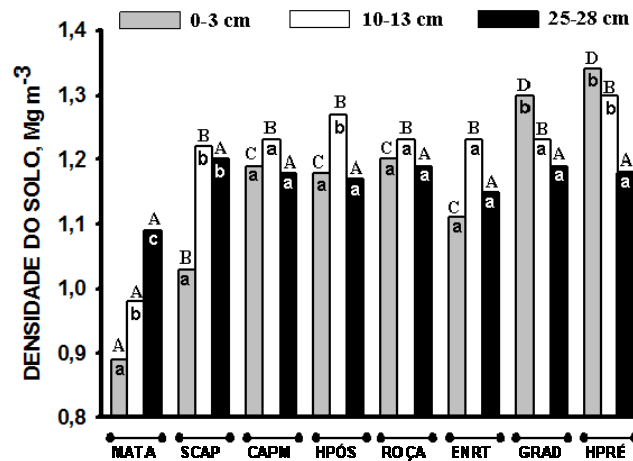
Tanto as alterações nas densidades como as variações nos teores carbono orgânico do LVdf sob mata nativa e cultivado com cafeeiros sob diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras ocorreram principalmente na profundidade de 0-3 cm (Figuras 2A e 2B), proporcionado pelas diferenças de história de manejo das plantas invasoras. Nas profundidades 10-13 cm e 25-28 cm, os valores de densidade do solo não foram diferentes entre os métodos de manejo de plantas invasoras (Figura 2A). Para a profundidade de 25-28 cm, os valores de densidade do solo e os teores de carbono orgânico do solo não foram alterados pelos diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras na lavoura cafeeira em relação ao solo sob mata nativa (Figura 2A). Esses resultados corroboram as observações de Alcântara & Ferreira (2000), que observaram que as maiores influências do manejo de plantas invasoras em lavouras cafeeiras ocorrem até a profundidade de 15 cm.

O teor de carbono orgânico do LVdf na profundidade 0-3 cm sob o manejo SCAP apresentou valores mais elevados do que nos locais sob os demais sistemas de manejo de plantas invasoras e sob mata nativa (Figura 2B). A manutenção das plantas invasoras no centro das entrelinhas dos cafeeiros proporciona maior aporte de resíduos orgânicos para o solo sob o manejo sem capina, contribuindo para a elevação do teor de carbono orgânico (Alcântara &

Ferreira, 2000), além de constante cobertura vegetal do solo, o que reduz as taxas de decomposição da matéria orgânica. Por outro lado, o teor de carbono orgânico é reduzido para o LVdf sob o manejo HPRE, na profundidade de 0-3 cm (Figura 2B), somado ao provável efeito dos valores elevados de densidade do solo (Figura 2A) encontrados para o LVdf sob o manejo HPRE. Como a matéria orgânica apresenta menores valores de densidade do que as partículas minerais, quando incorporadas à matriz do solo, assim, a densidade do solo será reduzida, além de ocorrerem acréscimos na porosidade, efeito este conhecido com efeito de diluição (Soane, 1990).

Portanto, um solo sob manejos de plantas invasoras que proporcionam o esgotamento do carbono orgânico do solo, como o HPRE, se apresenta com valores elevados de densidade. Esses resultados concordam com as observações de Arvidsson (1998) de que a densidade do solo no campo após o tráfego de diferentes máquinas foi amplamente dependente do teor de matéria orgânica do solo.

(A)



(B)

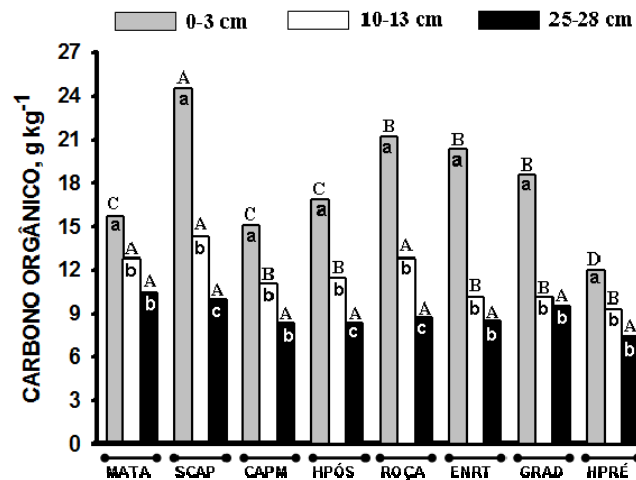


FIGURA 2 Densidade do solo (A) e carbono orgânico (B) de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e no centro das entrelinhas de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de plantas invasoras. Mata nativa (MATA), sem capina (SCAP), capina manual (CAPM), herbicida de pós-emergência (HPOS), roçadora (ROÇA), enxada rotativa (ENRT), grade (GRAD) e herbicida de pré-emergência (HPRE). As médias seguidas da mesma letra minúscula comparam as profundidades dentro do mesmo manejo e maiúscula, entre os diferentes manejos na mesma profundidade, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

5.2 Tensões aplicadas ao solo e sua distribuição

Para os bulbos de tensão apresentados na Figura 3, as condições das superfícies do solo foram consideradas quando os manejos do solo não revolvem a superfície do solo (SCAP, HPOS, ROÇA e HPRE) e a tensão máxima de 220 kPa é exercida até a profundidade de 12 cm. Na Figura 4, as condições do solo foram consideradas em uma situação semelhante ao que pode ocorrer nas áreas com manejo de plantas invasoras (CAPM, ENRT e GRAD) utilizando o revolvimento do solo regularmente e a tensão máxima de 220 kPa é exercida até a profundidade de 15 cm. Apesar de o programa TASC ser uma ferramenta importante na prevenção da disseminação da compactação dos solos, este modelo faz ainda um julgamento subjetivo do risco de compactação, uma vez que o mesmo não considera o comportamento compressivo dos solos sob diferentes sistemas de manejo. Assim, para analisar o risco de compactação considerando o comportamento compressivo do solo, foram utilizados os modelos de capacidade de suporte de carga.

Os valores de tensões máximas calculados pelo programa TASC (Diserens, 2005) foram de 2,2 bar = 220 kPa, para o pneu dianteiro 6-16 (Variant 1 e 3, Figuras 3 e 4) e de 1,2 a 1,4 bar = 120 a 140 kPa para o pneu traseiro 12.4 – R28 (Variant 2, Figura 3). As tensões exercidas pelo trator cafeeiro Valmet[®] modelo 68 podem causar compactação do solo severa nas profundidades 15-16 cm (Figura 3) e 16-21 cm (Figura 4). Esta classificação foi feita considerando a mudança na estrutura abaixo na profundidade máxima de preparo do solo, a qual é mais ou menos irreversível e, segundo os critérios adotados pelo programa TASC, ameaça a fertilidade do solo ao longo do tempo (Diserens, 2005).

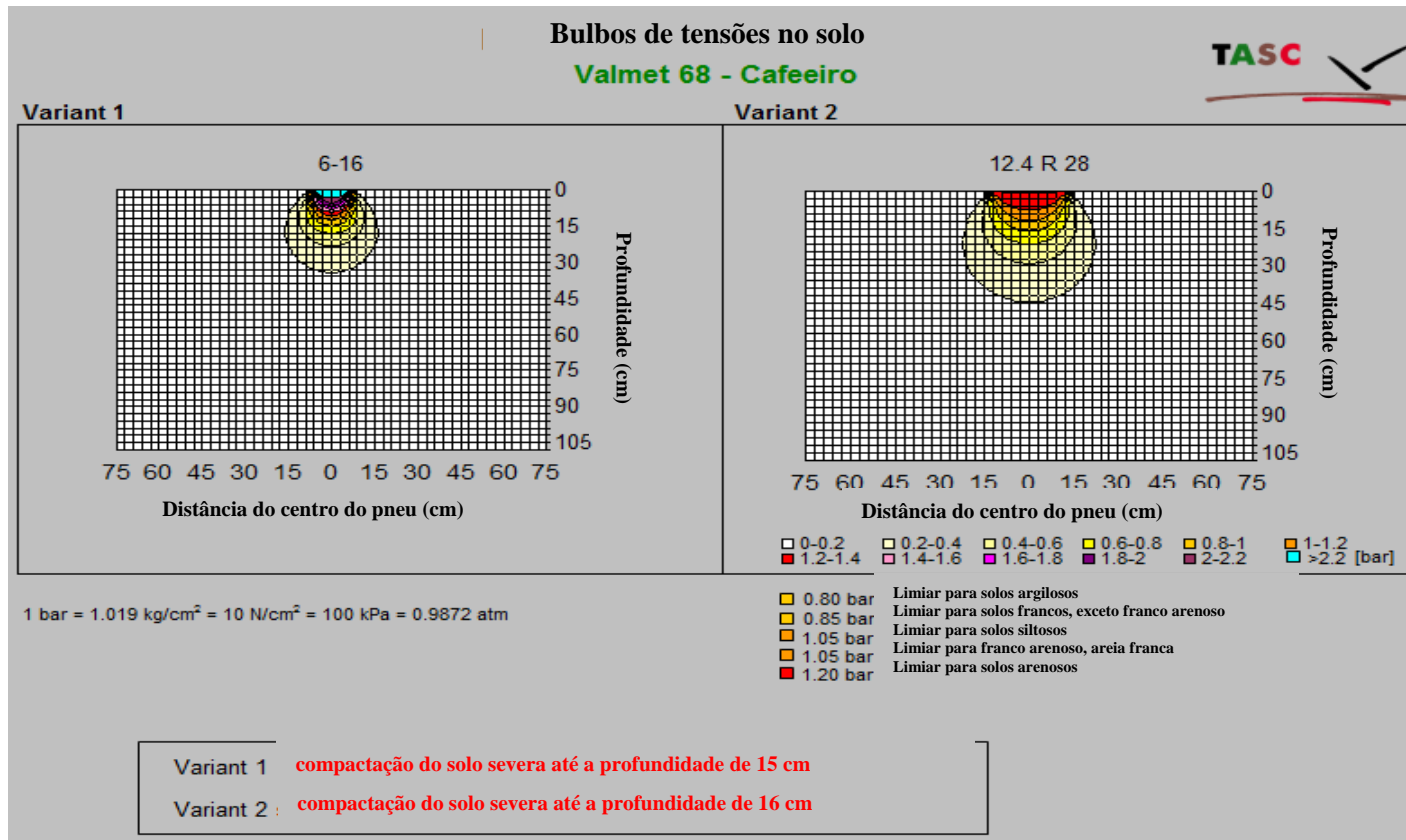


FIGURA 3 Bulbos de tensão obtidos para os pneus dianteiros e traseiros do trator cafeeiro Valmet[®] 68, considerando o solo sem preparo.

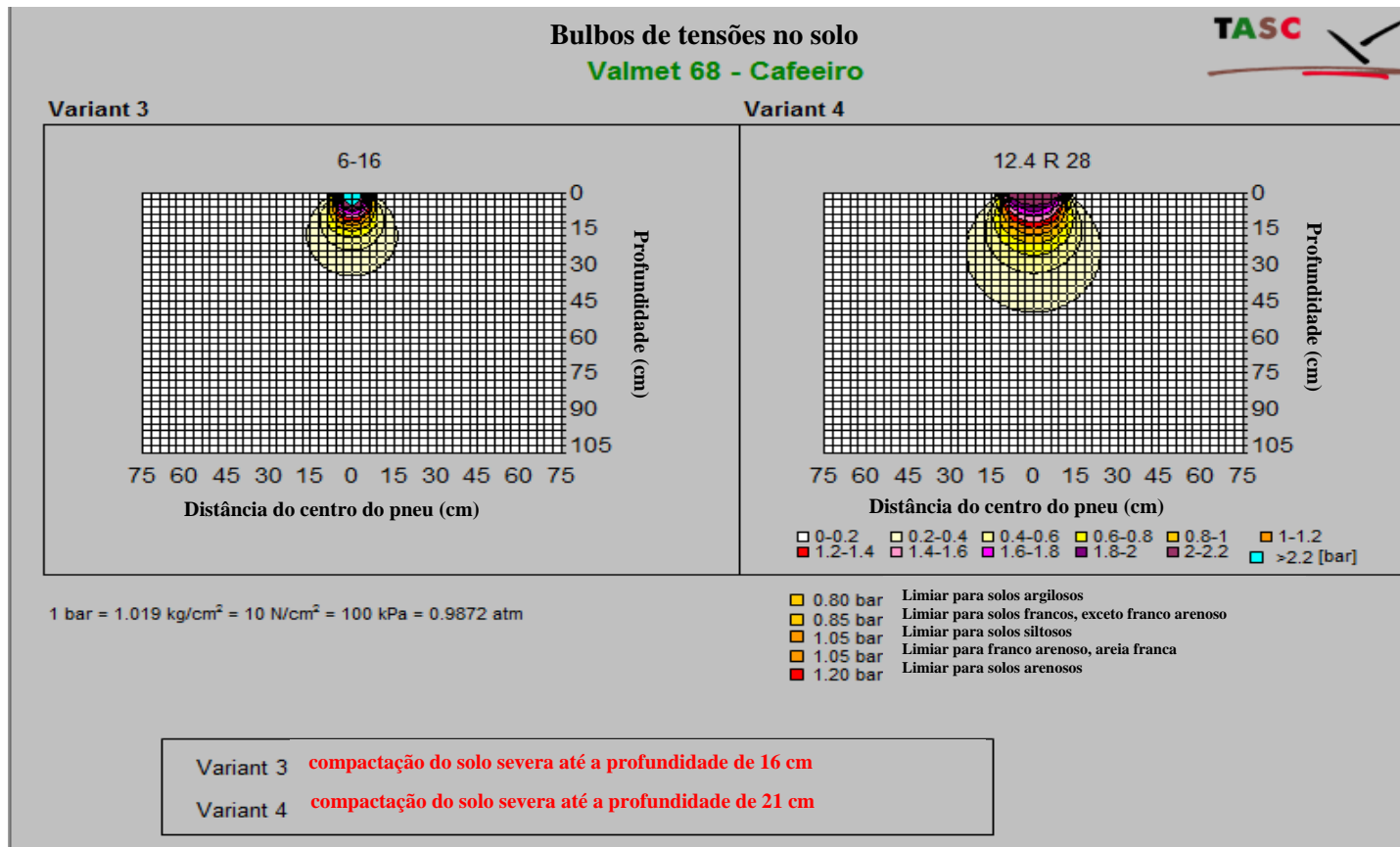


FIGURA 4 Bulbos de tensão obtidos para os pneus dianteiros e traseiros do trator cafeeiro Valmet[®] 68, considerando o solo com baixa resistência ou preparado regularmente.

5.3 Capacidade de suporte de carga do solo

Para analisar o risco de compactação considerando o comportamento compressivo do solo, foram utilizados os modelos de capacidade de suporte de carga. Na Tabela 3 estão apresentados os coeficientes lineares dos modelos de capacidade de suporte de carga para o LVdf sob mata nativa e cultivado com cafeeiros e submetido a diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras em três profundidades.

Observa-se, na Tabela 3, que os valores dos coeficientes lineares “a” dos modelos de capacidade de suporte de carga variaram de 2,57 (mata nativa na profundidade 0-3 cm) a 2,91 (roçadora na profundidade 10-13 cm) e os coeficientes angulares “b”, entre -0,62 (grade na profundidade 0-3 cm) e -1,73 (roçadora na profundidade 10-13 cm). Os coeficientes de determinação (R^2) foram todos significativos, a 1% de probabilidade, pelo teste t-Student e variaram de 0,49 a 0,92 (Tabela 3). Menores valores do coeficiente linear de modelos de CSC para o solo sob mata nativa também foram observados por Silva & Cabeda (2006). Estes autores sugerem que o maior espaço poroso do solo sob mata nativa proporciona maior compressibilidade e, conseqüentemente, menor CSC.

Para verificar as possíveis alterações da estrutura do LVdf causadas pela lavoura cafeeira sob diferentes condições de manejo de plantas invasoras em relação à mata nativa, os modelos de CSC foram comparados utilizando-se o teste de homogeneidade de modelos lineares (Snedecor & Cochran, 1989) nas diferentes profundidades, dentro de cada condição de manejo (Tabela 4).

Os modelos de CSC obtidos para o LVdf na posição de amostragem centro das entrelinhas dos cafeeiros para os manejos CAPM, ROÇA e ENRT não foram diferentes para as três profundidades (Tabela 4), enquanto que, para a MATA e HPOS, os modelos CSC do LVdf não foram diferentes, nas profundidades 0-3 e 10-13 cm.

TABELA 3 Coeficientes lineares e angulares dos modelos de capacidade de suporte de carga linearizados [$\log \sigma_p = a+b\theta$] de um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) sob mata nativa e lavoura cafeeira na posição de amostragem centro das entrelinhas, em três profundidades e submetido a diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras.

Manejo/uso	a	b	R ²	n
Profundidade 0-3 cm				
Mata nativa	2,57	- 0,71	0,80**	15
Sem capina	2,71	- 1,33	0,83**	15
Capina manual	2,82	- 1,21	0,79**	14
Herbicida de pós-emergência	2,79	- 1,14	0,81**	15
Roçadora	2,82	- 1,26	0,72**	15
Enxada rotativa	2,68	- 1,18	0,66**	15
Grade	2,75	- 0,62	0,64**	15
Herbicida de pré-emergência	2,74	- 0,83	0,90**	15
Profundidade 10-13 cm				
Mata nativa	2,61	- 0,90	0,77**	15
Sem capina	2,71	- 1,00	0,86**	14
Capina manual	2,84	- 1,22	0,69**	15
Herbicida de pós-emergência	2,78	- 1,09	0,79**	13
Roçadora	2,91	- 1,73	0,79**	15
Enxada rotativa	2,76	- 1,12	0,62**	15
Grade	2,77	- 1,00	0,78**	15
Herbicida de pré-emergência	2,68	- 0,77	0,92**	15
Profundidade 25-28 cm				
Mata nativa	2,66	- 1,11	0,90**	14
Sem capina	2,70	- 1,15	0,79**	15
Capina manual	2,78	- 1,11	0,80**	15
Herbicida de pós-emergência	2,69	- 0,79	0,81**	15
Roçadora	2,83	- 1,43	0,68**	15
Enxada rotativa	2,77	- 1,48	0,74**	15
Grade	2,71	- 0,84	0,49**	15
Herbicida de pré-emergência	2,73	- 0,90	0,88**	15

a e b são coeficientes de ajuste dos modelos de capacidade de suporte de carga; R² = coeficiente de determinação; **significativo, pelo teste de t-Student, a 1% de probabilidade; n = número de amostras.

TABELA 4 Teste de significância⁽¹⁾ entre os modelos de capacidade de suporte de carga⁽²⁾ de um Latossolo Vermelho distroférico, para os diferentes usos e manejo de plantas invasoras.

Usos/manejo de plantas invasoras	Profundidades (cm)	F	F	
			Coeficiente angular, b	Coeficiente linear, a
MATA	0-3 VS 10-13	H	ns	ns
	0-3 e 10-13 VS 25-28	H	*	ns
Centro das entrelinhas da lavoura cafeeira				
SCAP	0-3 VS 25-28	NH	ns	ns
	10-13 VS 25-28	H	ns	ns
	0-3 VS 10-13 e 25-28	H	*	**
CAPM	0-3 VS 10-13	H	ns	ns
	0-3 e 10-13 VS 25-28	H	ns	ns
HPOS	0-3 VS 10-13	H	ns	ns
	0-3 e 10-13 x 25-28	H	**	ns
ROÇA	0-3 VS 10-13	H	ns	ns
	0-3 e 10-13 VS 25-28	H	ns	ns
ENRT	0-3 VS 10-13	H	ns	ns
	0-3 e 10-13 VS 25-28	H	ns	ns
GRAD	10-13 VS 25-28	H	ns	ns
	0-3 VS 10-13 e 25-28	NH	ns	**
HPRE	10-13 VS 25-28	H	ns	ns
	0-3 VS 10-13 e 25-28	H	ns	*

⁽¹⁾Snedecor & Cochran (1989); ⁽²⁾ $\sigma_p = 10^{(a + b\theta)}$; NH: não homogêneo; H: homogêneo; **significativo, a 1% de probabilidade; *significativo, a 5% de probabilidade; ns: não significativo. Mata nativa (MATA), sem capina (SCAP), capina manual (CAPM), herbicida de pós-emergência (HPOS), roçadora (ROÇA), enxada rotativa (ENRT), grade (GRAD) e herbicida de pré-emergência (HPRE).

Para os manejos SCAP, GRAD e HPRE, os modelos de CSC do LVdf não foram diferentes nas profundidades 10-13 e 25-28 cm, indicando que esses manejos proporcionam a mesma CSC nas maiores profundidades avaliadas. Para cada condição em que os modelos de CSC não foram diferentes, novas equações foram ajustadas, considerando todos os valores de pressão de preconsolidação (σ_p) e umidade volumétrica (θ) (Figuras 5 a 12).

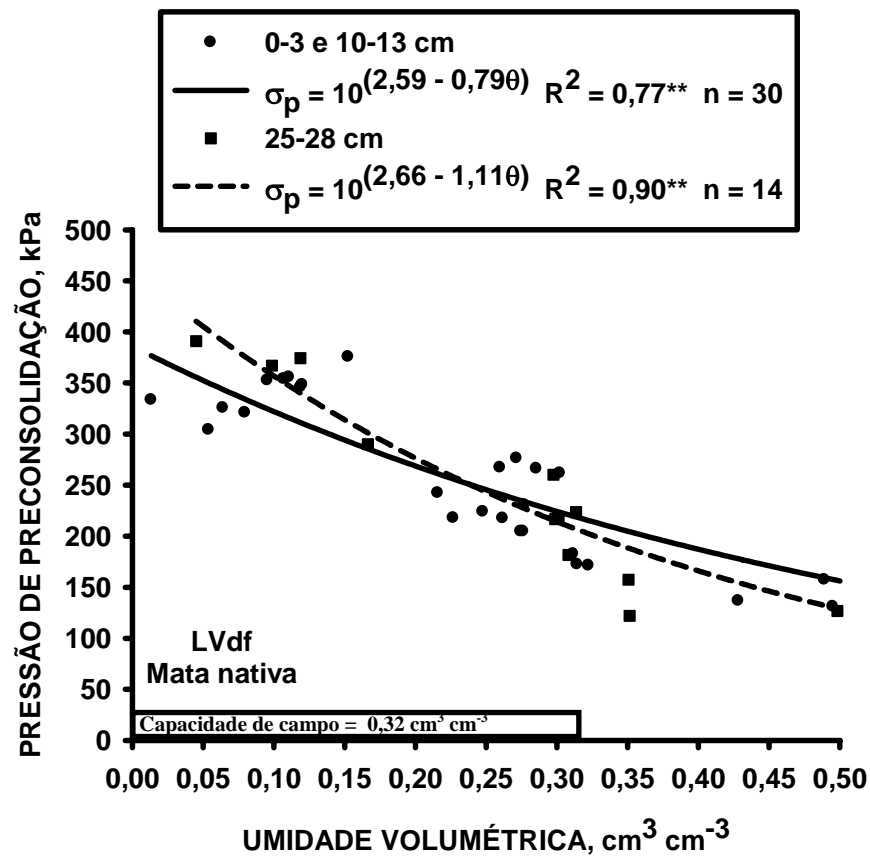


FIGURA 5 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa em três profundidades. Capacidade de campo (amostras submetidas ao potencial mátrico Ψ de -6 kPa) média de nove repetições para as três profundidades.

Na Figura 5, observa-se maior CSC para a profundidade de 25-28 cm até a umidade volumétrica de $0,22 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ quando comparada as profundidades 0-3 e 10-13 cm. Para valores de umidade superiores a $0,22 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, observa-se uma inversão do comportamento quanto à CSC do solo. O maior valor de densidade inicial e o menor teor de carbono orgânico do LVdf na profundidade de 25-28 cm em comparação às demais profundidades (Figuras 2A e 2B) podem estar relacionados à maior CSC, nas umidades menores que $0,22 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Os resultados obtidos quanto à CSC do LVdf sob MATA foram semelhantes aos obtidos por Silva & Cabeda (2006), quando estes autores observaram menor CSC de um solo sob mata nativa na profundidade de 0-2 cm, até a umidade de $0,14 \text{ kg kg}^{-1}$. Já na umidade de $0,19 \text{ kg kg}^{-1}$, a CSC do solo sob mata nativa foi superior à CSC do que na profundidade de 20-22 cm (Silva & Cabeda, 2006). O conteúdo de água correspondente à capacidade de campo $0,32 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (Figura 5), segundo Lebert et al. (2007), representa a umidade de maior risco de compactação do solo. O valor de $0,32 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ obtido no presente estudo é semelhante ao conteúdo de água de maior susceptibilidade à compactação de um LVdf sob mata nativa encontrado por Kondo & Dias Junior (1999b). Estes autores observaram que as umidades gravimétricas que representam a maior susceptibilidade à compactação do LVdf seriam de $0,33 \text{ kg kg}^{-1}$ e $0,29 \text{ kg kg}^{-1}$, para as profundidades de 0-3 e 27-30 cm, respectivamente.

Na Figura 6, observa-se que o manejo SCAP proporciona menor CSC ao longo de todo o intervalo de umidade para a profundidade de 0-3 cm. Esta menor CSC está associada aos menores valores de densidade do solo (Figura 2A) e maiores conteúdos de carbono orgânico (Figura 2B) nesta profundidade, em relação às profundidades 10-13 e 25-28 cm. O maior conteúdo de carbono orgânico na profundidade de 0-3 cm promove maior elasticidade ao solo quando submetido a tensões, fazendo com que o solo se comporte como uma mola (Zhang et al., 2005). Com a liberação das tensões, o solo com maior conteúdo de

carbono orgânico tende a ter maior resiliência ou recuperação da estrutura, refletindo em menor resistência mecânica avaliada pelo modelo de CSC (Figura 6) e também mostrada pelos menores valores de densidade do solo (Figura 2A).

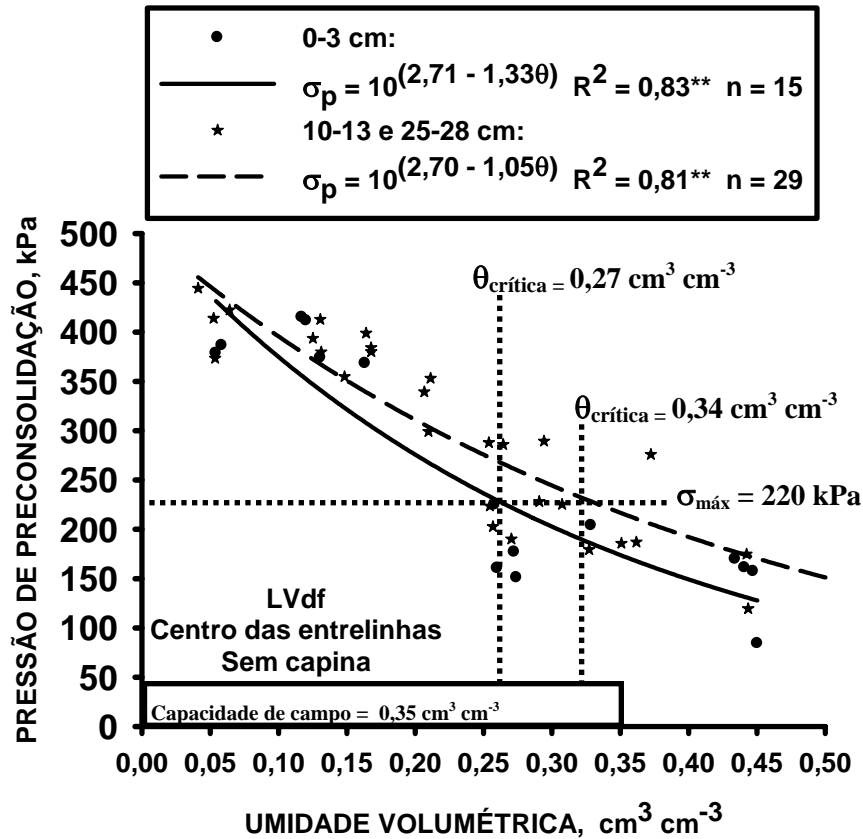


FIGURA 6 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com cafeeiros sob o manejo sem capina na posição de amostragem centro das entrelinhas dos cafeeiros em três profundidades. A linha pontilhada horizontal representa a tensão máxima de 220 kPa ($\sigma_{\text{máx}}$) aplicada pelo trator cafeeiro utilizado no manejo Valmet® 68. As linhas pontilhadas verticais representam as umidades críticas ($\theta_{\text{crítica}}$) para o tráfego do trator cafeeiro Valmet® 68.

O modelo de resiliência de solos com o aumento dos teores de matéria orgânica foi proposto por Zhang et al. (2005), indicando menores deformações plásticas ou irreversíveis e maior elasticidade do solo.

Observa-se, ainda pela Figura 6, que, considerando a tensão máxima aplicada ao solo pelo trator cafeeiro Valmet® 68 (220 kPa), o tráfego pode ser realizado sem promover a compactação adicional na profundidade de 0-3 cm, até valores de umidade de $0,27 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Com o aumento da CSC nas profundidades de 10-13 e 25-28 cm ocorrerá compactação adicional somente se o tráfego for realizado em umidade volumétrica maior que $0,34 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Observa-se, ainda pela Figura 6, que as umidades críticas para o tráfego do trator cafeeiro estão abaixo do valor de capacidade de campo ($0,35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Para se determinar a umidade para o tráfego do trator, devem-se considerar as profundidades menos resistentes à compactação, para que o tráfego de máquinas seja realizado estabelecendo como limite o valor de $0,27 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Fazendo-se uma relação entre o valor de umidade crítica e capacidade de campo se obtém o valor de 77% da água retida no potencial mátrico de -6 kPa , ou seja, para evitar a compactação adicional para o manejo SCAP, a umidade volumétrica deve estar abaixo de $0,27 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Para o manejo CAPM no centro das entrelinhas, a CSC foi igual nas três profundidades (Tabela 4 e Figura 7). Esse comportamento está associado à homogeneidade da densidade do solo entre as três profundidades (Figura 2A), o que pode ser atribuído à influência do sistema radicular das plantas invasoras. Neste estudo, os manejos adotados durante 30 anos proporcionaram uma homogeneização quanto a CSC no manejo submetido à CAPM (Figura 7).

No manejo CAPM, o tráfego do trator cafeeiro Valmet® 68 pode ser realizado sem promover a compactação adicional até a umidade volumétrica de $0,40 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, valor acima da capacidade de campo (Figura 7).

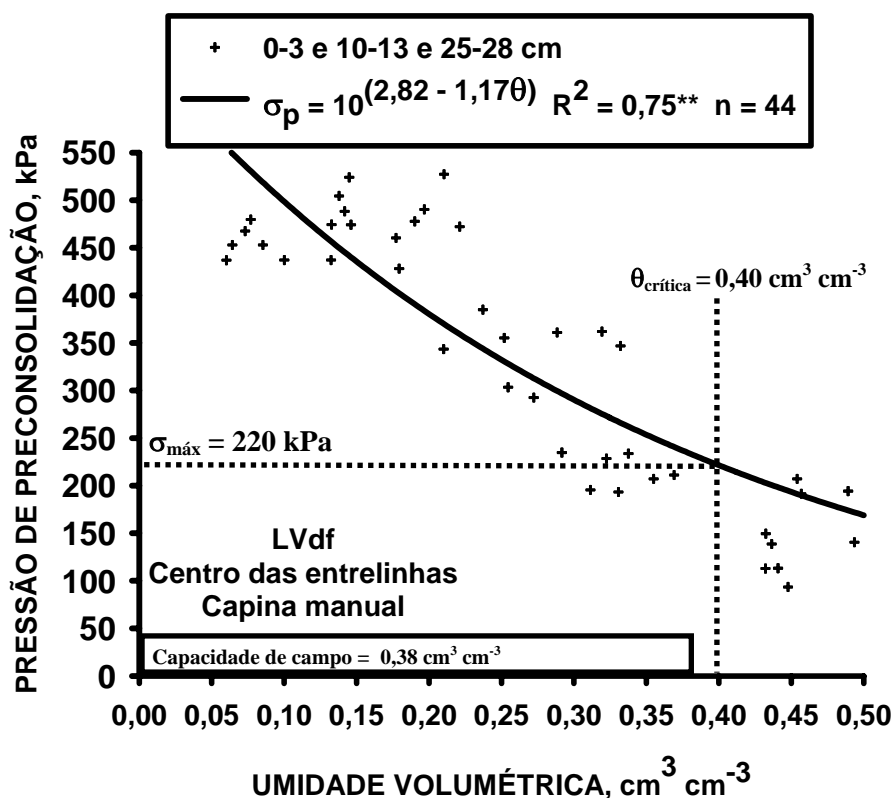


FIGURA 7 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférrico cultivado com cafeeiros sob o manejo capina manual na posição de amostragem centro das entrelinhas dos cafeeiros em três profundidades. A linha pontilhada horizontal representa a tensão máxima de 220 kPa ($\sigma_{\text{máx}}$) aplicada pelo trator cafeeiro utilizado no manejo Valmet® 68. A linha pontilhada vertical representa a umidade crítica ($\theta_{\text{crítica}}$) para o tráfego do trator cafeeiro Valmet® 68.

O valor da umidade crítica para o manejo CAPM representa 105% da água retida na capacidade de campo. O aumento da umidade crítica para a compactação adicional no manejo CAPM (Figura 7) em relação ao manejo SCAP (Figura 6) deve-se ao maior valor de densidade inicial $1,19 \text{ Mg m}^{-3}$ em relação à densidade inicial obtido no manejo SCAP $1,03 \text{ Mg m}^{-3}$ (Figura 2A). O

revolvimento superficial do solo associado à cobertura vegetal parcial proporcionada pelo manejo CAPM pode favorecer a formação do encrostamento superficial e estar relacionada à redução nos teores de carbono orgânico do solo (Figura 2B) ao aumento dos valores de densidade inicial (Figura 2A) e umidade crítica (Figura 7).

Para o manejo HPOS, a CSC foi igual entre as profundidades 0-3 e 10-13 cm (Tabela 4). A maior CSC foi observada para as profundidades 0-3 e 10-13 cm até a umidade volumétrica de $0,28 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e, para umidades volumétricas maiores que $0,28 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, observa-se uma inversão do comportamento quanto a CSC entre as profundidades (Figura 8). Os resultados obtidos quanto à CSC para o LVdf sob o manejo HPOS (Figura 8) foram semelhantes aos obtidos por Kurachi & Silveira (1984). Estes autores observaram perfis de resistência mecânica de um LVdf submetido à aplicação de herbicidas, localizado em Analândia, SP, em comparação ao solo submetido ao manejo capina manual. Na umidade de $0,21 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a resistência mecânica do LVdf submetido ao manejo com herbicida atinge um máximo entre as profundidades de 10-15 cm e reduz com o aumento da profundidade (Kurachi & Silveira, 1984).

No manejo HPOS, o tráfego do trator cafeeiro Valmet® 68 pode ser realizado sem promover compactação adicional nas profundidades 0-3 e 10-13 cm até a umidade volumétrica de $0,39 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (105% da umidade retida na capacidade de campo). Na profundidade de 25-28 cm, o tráfego deste trator pode ser realizado até a umidade volumétrica de $0,44 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (119% da umidade retida na capacidade de campo), considerando a tensão máxima de 220 kPa. Ambos os valores de umidades críticas determinados para este manejo estão acima da água retida na capacidade de campo (Figura 8). Estes resultados estão relacionados aos valores elevados de densidade inicial (Figura 2A) e redução dos teores de carbono orgânico do solo, principalmente na profundidade de 0-3 cm (Figura 2B). O maior grau de compactação inicial, representado pelos

valores de densidade do solo, promove maior CSC (Kondo & Dias Junior, 1999b; Silva & Cabeda, 2006) aos solos, elevando os níveis para se atingir a umidade crítica.

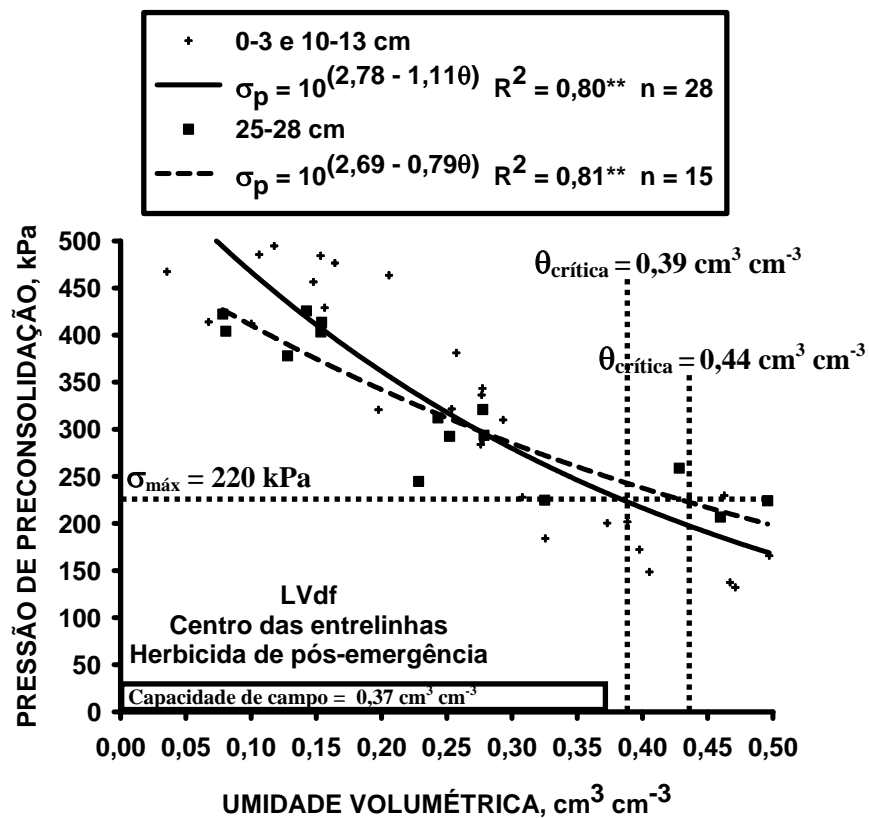


FIGURA 8 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com cafeeiros sob o manejo herbicida de pós-emergência na posição de amostragem centro das entrelinhas dos cafeeiros, em três profundidades. A linha pontilhada horizontal representa a tensão máxima de 220 kPa ($\sigma_{\text{máx}}$) aplicada pelo trator cafeeiro utilizado no manejo Valmet[®] 68. As linhas pontilhadas verticais representam as umidades críticas ($\theta_{\text{crítica}}$) para o tráfego do trator cafeeiro Valmet[®] 68.

Nas Figuras 9 e 10 e no Tabela 4, observa-se que a CSC do LVdf foi igual nas três profundidades, quando submetido aos manejos ROÇA e ENRT. Este resultado pode ser atribuído aos valores de densidade do solo homogêneos, nas três profundidades, para os dois sistemas de manejo (Figura 2A), o que confere o mesmo grau de compactação inicial homogeneizando a CSC.

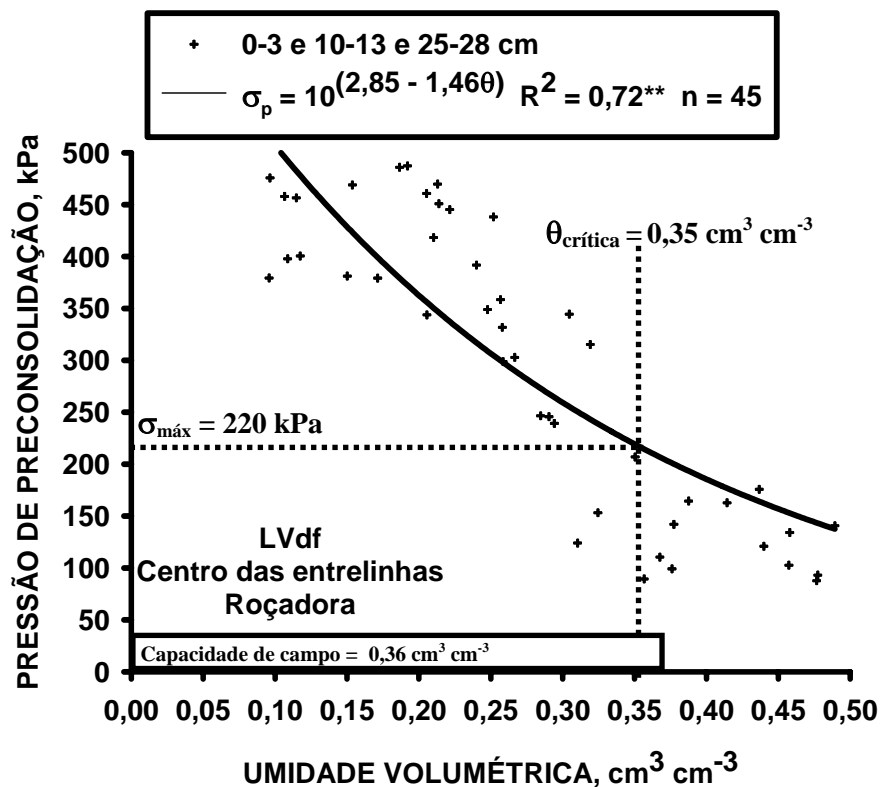


FIGURA 9 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com cafeeiros sob o manejo roçador na posição de amostragem centro das entrelinhas dos cafeeiros, em três profundidades. A linha pontilhada horizontal representa a tensão máxima de 220 kPa ($\sigma_{máx}$) aplicada pelo trator cafeeiro utilizado no manejo Valmet[®] 68. A linha pontilhada vertical representa a umidade crítica ($\theta_{crítica}$) para o tráfego do trator cafeeiro Valmet[®] 68.

Para o solo submetido ao manejo com ROÇA, a umidade crítica foi de $0,35 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (Figura 9) e, para o solo sob o manejo ENRT, $0,31 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (Figura 10). Os valores de umidade crítica representam 97% da água retida na capacidade de campo para o manejo ROÇA e 84% para o manejo ENRT.

Para o solo submetido ao manejo com ENRT, o revolvimento constante do solo e a desestruturação do solo, provocada pela ação do equipamento, promovem redução da CSC e conseqüente redução no valor de umidade crítica para o manejo ENRT (Figura 10), em comparação ao solo submetido ao manejo com a ROÇA (Figura 9).

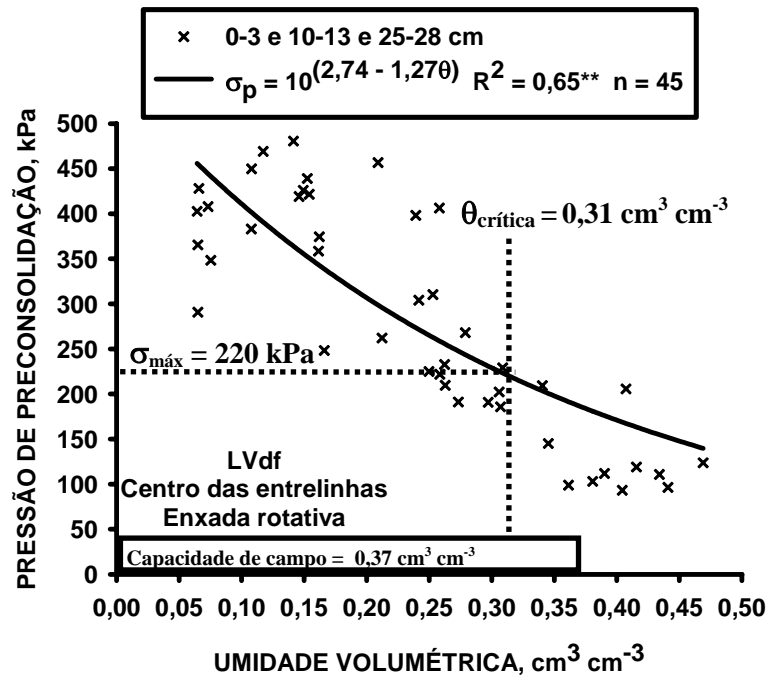


FIGURA 10 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com cafeeiros sob o manejo enxada rotativo na posição de amostragem centro das entrelinhas dos cafeeiros, em três profundidades. A linha pontilhada horizontal representa a tensão máxima de 220 kPa ($\sigma_{\text{máx}}$) aplicada pelo trator cafeeiro utilizado no manejo Valmet® 68. A linha pontilhada vertical representa a umidade crítica ($\theta_{\text{crítica}}$) para o tráfego do trator cafeeiro Valmet® 68.

Na Figura 11, observa-se que o manejo das plantas invasoras com a GRAD promove maior CSC ao LVdf ao longo de todo o intervalo de umidade, para a profundidade de 0-3 cm. A maior CSC na profundidade de 0-3 cm se deve ao maior valor de densidade do solo (Figura 2A) em relação às demais profundidades.

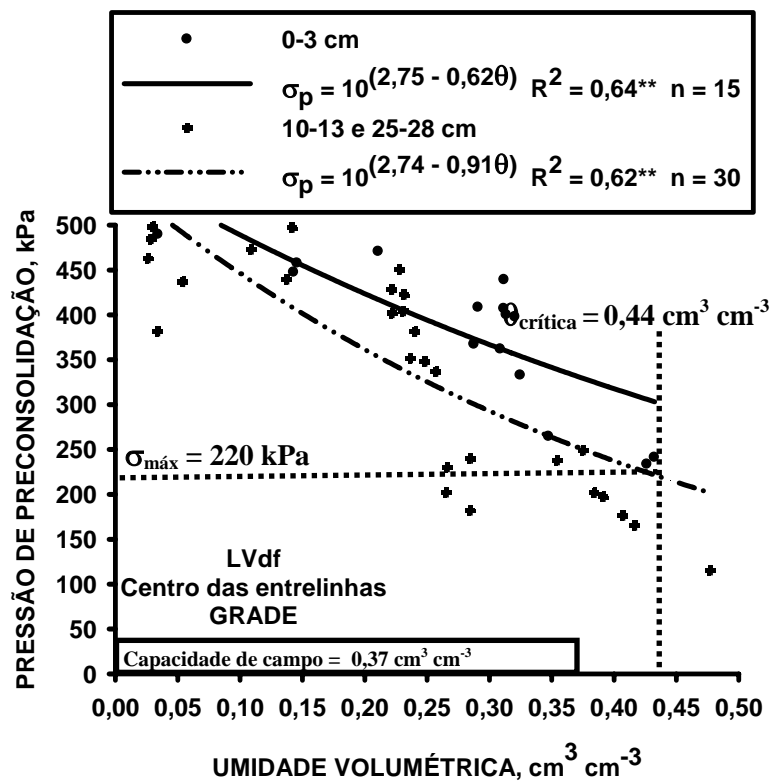


FIGURA 11 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférrico cultivado com cafeeiros sob o manejo grade na posição de amostragem centro das entrelinhas dos cafeeiros em três profundidades. A linha pontilhada horizontal representa a tensão máxima de 220 kPa ($\sigma_{\text{máx}}$) aplicada pelo trator cafeeiro utilizado no manejo Valmet® 68. A linha pontilhada vertical representa a umidade crítica ($\theta_{\text{crítica}}$) para o tráfego do trator cafeeiro Valmet® 68.

O maior grau de compactação proporcionado pela grade na profundidade de 0-3 cm pode estar associado à largura de corte da grade de 1,30 m, insuficiente para o controle efetivo das plantas invasoras em apenas uma passada por entrelinha, provocando aumento da intensidade de tráfego e da compactação do solo no centro das entrelinhas dos cafeeiros (Figura 11). O valor da umidade crítica representa 119% da água retida na capacidade de campo para o manejo GRAD.

O aumento de densidade do solo e da CSC na profundidade 0-3 cm em relação às demais profundidades, além da intensidade das operações, se deve ao impacto direto das gotas de chuva e aos sinais de erosão superficial, arrastando consigo a camada revolvida de solo (Kurachi & Silveira, 1984), permanecendo desde a superfície uma camada de solo compactada. A última gradagem antes da amostragem foi realizada no dia 26-11-2007; para cada entrelinha o tráfego de máquinas foi realizado três vezes para o controle efetivo das plantas invasoras.

Observa-se, ainda pela Figura 11, que, considerando a tensão máxima aplicada ao solo pelo trator cafeeiro Valmet® 68 (220 kPa), o tráfego pode ser realizado sem promover a compactação adicional para a profundidade de 0-3 cm, uma vez que a tensão aplicada ao solo por este trator não ultrapassa os valores de CSC. Nas profundidades de 10-13 e 25-28 cm, o tráfego pode ser realizado sem promover compactação adicional até valores de umidade de 0,44 cm³ cm⁻³. A ampla faixa de conteúdo de água para atingir a umidade crítica se deve à história de tensão ou elevado grau de compactação inicial observado pela densidade do solo 1,30 Mg m⁻³ (Figura 2A), encontrado para o LVdf sob o manejo com grade na profundidade de 0-3 cm.

Na Figura 12, visualiza-se que o solo sob o manejo herbicida de pré-emergência apresenta maior CSC ao longo de todo o intervalo de umidade para profundidade de 0-3 cm. Nota-se, ainda, que, considerando a tensão máxima de 220 kPa aplicada pelo trator cafeeiro Valmet® 68, a umidade crítica para esta

profundidade é de $0,48 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Para as profundidades de 10-13 e 25-28 cm, o tráfego do trator cafeeiro Valmet® 68 pode ser realizado sem promover compactação adicional até valores de umidade de $0,44 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (Figura 12). Os valores de umidade crítica representam 125% da água retida na capacidade de campo nas profundidades 10-13 e 25-28 cm e 137% para a profundidade de 0-3 cm.

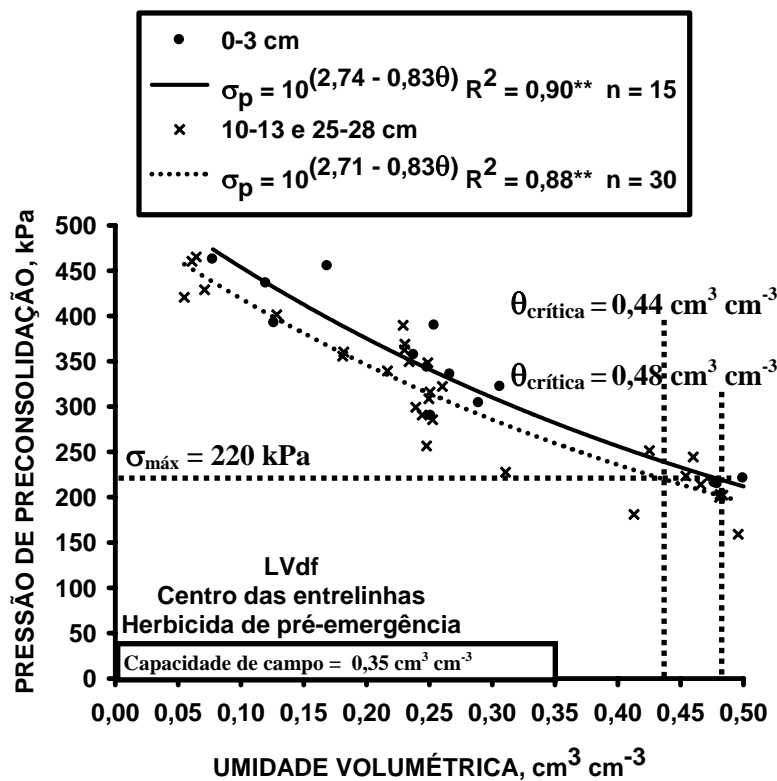


FIGURA 12 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférrico cultivado com cafeeiros sob o manejo herbicida de pré-emergência na posição de amostragem centro das entrelinhas dos cafeeiros, em três profundidades. A linha pontilhada horizontal representa a tensão máxima de 220 kPa ($\sigma_{\text{máx}}$) aplicada pelo trator cafeeiro utilizado no manejo Valmet® 68. A linha pontilhada vertical representa a umidade crítica ($\theta_{\text{crítica}}$) para o tráfego do trator cafeeiro Valmet® 68.

Para verificar as possíveis alterações na CSC do LVdf causada pelos diferentes manejos de plantas invasoras em relação ao solo sob mata nativa, os modelos de CSC foram comparados dentro de cada profundidade entre os diferentes usos e manejos (Tabelas 5 a 7).

TABELA 5 Teste de significância⁽¹⁾ entre os modelos de capacidade de suporte de carga⁽²⁾ de um Latossolo Vermelho distroférico para os diferentes usos e manejo de plantas invasoras para a profundidade de 0–3 cm, no centro das entrelinhas dos cafeeiros.

Usos/manejo de plantas invasoras	F	F	
		Coefficiente angular, b	Intercepto da regressão, a
Profundidade 0–3 cm			
Sem capina VS enxada rotativa	H	ns	ns
Sem capina e enxada rotativa VS mata nativa	NH	**	ns
Sem capina e enxada rotativa VS grade	NH	*	**
Sem capina e enxada rotativa VS herbicida de pré-emergência	NH	*	**
Capina manual VS roçadora	H	ns	ns
Capina manual e roçadora VS herbicida de pós-emergência	H	ns	ns
Capina manual e roçadora e herbicida de pós-emergência VS herbicida de pré-emergência	NH	**	*
Capina manual e roçadora e herbicida de pós-emergência VS grade	H	**	**
Capina manual e roçadora e herbicida de pós-emergência VS mata nativa	NH	**	**
Capina manual e roçadora e herbicida de pós-emergência VS sem capina e enxada rotativa	H	ns	**
Grade VS herbicida de pré-emergência	NH	**	ns
Mata nativa VS herbicida de pré-emergência	H	ns	**
Mata nativa VS grade	H	ns	**

⁽¹⁾Snedecor & Cochran (1989); ⁽²⁾ $\sigma_p = 10^{(a + b\theta)}$; NH: não homogêneo; H: homogêneo; **significativo, a 1% de probabilidade; *significativo, a 5% de probabilidade; ns: não significativo.

Observa-se, pelos dados do Tabela 5, que os modelos de CSC do LVdf submetido aos manejos SCAP vs ENRT e CAPM vs ROÇA vs HPOS não foram diferentes na profundidade de 0-3 cm. Assim sendo, para cada situação, uma nova equação foi ajustada, considerando todos os valores de pressão de preconsolidação e umidade volumétrica (Figura 13). Dessa forma, observa-se que, de maneira geral, a CSC do LVdf na profundidade de 0-3 cm segue a seguinte ordem: GRAD>HPRE>CAPM = ROÇA = HPOS>SCAP = ENRT>MATA (Figura 13).

Pela Figura 13 observa-se maior CSC para o LVdf sob o manejo com a GRAD ao longo de todo o intervalo de umidade. Tal resultado deve-se à maior densidade inicial ($1,30 \text{ Mg m}^{-3}$) do LVdf associado a conteúdos de carbono orgânico intermediários (Figuras 2A e 2B), o que promove maior aproximação das partículas, aumentando a CSC do solo. Além disso, como ressaltado anteriormente, devido ao fato de a largura de corte da grade (1,30 m) ser insuficiente para que, em uma única passada, cubra todo o centro das entrelinhas, faz com que seja necessária maior quantidade de passadas para um controle satisfatório das plantas invasoras, promovendo aumentos da densidade do solo (Figura 2A) e da CSC (Figura 13).

Outro aspecto que vale ressaltar é que, devido ao elevado grau de compactação proporcionado pelo manejo com a GRAD, foram observados sinais de erosão superficial, arrastando consigo a camada revolvida de solo (Kurachi & Silveira, 1984). Quando o manejo de plantas invasoras foi realizado com a grade, em comparação ao manejo capina manual, aumentos na resistência mecânica na camada de 0-30 cm de um Latossolo Vermelho distroférico localizado em Analândia, SP, foram obtidos por Kurachi & Silveira (1984), determinados por um penetrógrafo portátil, nas umidades $0,15$, $0,20$ e $0,23 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

O manejo do solo utilizando a grade associado à elevada intensidade de tráfego também pode alterar a porosidade e a condutividade hidráulica do solo saturado, além da densidade do solo e da compressibilidade na camada superficial, como observado por Silva et al. (2003).

Para umidades volumétricas maiores que $0,19 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, o solo sob o manejo HPRE apresenta maior CSC em relação aos manejos CAPM e ROÇA e HPOS; SCAP e ENRT; MATA (Figura 13).

Os manejos CAPM e ROÇA e HPOS; HPRE proporcionam um comportamento intermediário ao LVdf quanto a CSC, quando comparado aos manejos com a GRAD e MATA, na profundidade de 0–3 cm.

Os manejos com GRAD e HPRE, os quais retiram a cobertura vegetal da área, favorecem o encrostamento superficial devido ao impacto direto das gotas de chuva (Kurachi & Silveira, 1984; Faria et al., 1998; Alcântara & Ferreira, 2000b; Araujo Junior et al., 2008), o que pode explicar o aumento da CSC resultante do aumento do grau de compactação e maior aproximação das partículas (Kondo & Dias Junior, 1999a; Silva et al., 2002; Oliveira et al., 2003; Silva et al., 2003; Silva & Cabeda, 2006).

O solo sob MATA apresenta menor CSC na profundidade de 0-3 cm em relação a todos os sistemas de manejo de plantas invasoras utilizados na lavoura cafeeira (Figura 13). Para umidades maiores que $0,22 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, o solo sob MATA apresenta maior CSC do que o solo sob os manejos SCAP e ENRT (Figura 13). A menor CSC do LVdf para o solo sob os manejos SCAP e ENRT pode ser atribuída aos menores valores de densidade do solo para o solo sob SCAP (Figura 2A) e à desagregação da camada superficial proporcionada pelo manejo ENRT, o que induz um menor contato entre as partículas primárias, promovendo menor CSC em conteúdos elevados de umidade. Para a ENRT, devido à conformação e à ação do equipamento no solo, esperam-se maiores incrementos na CSC nas profundidades abaixo de 10 cm, profundidade de

trabalho do equipamento, agravando o grau de compactação em profundidade, como ressaltado por Kurachi & Silveira (1984).

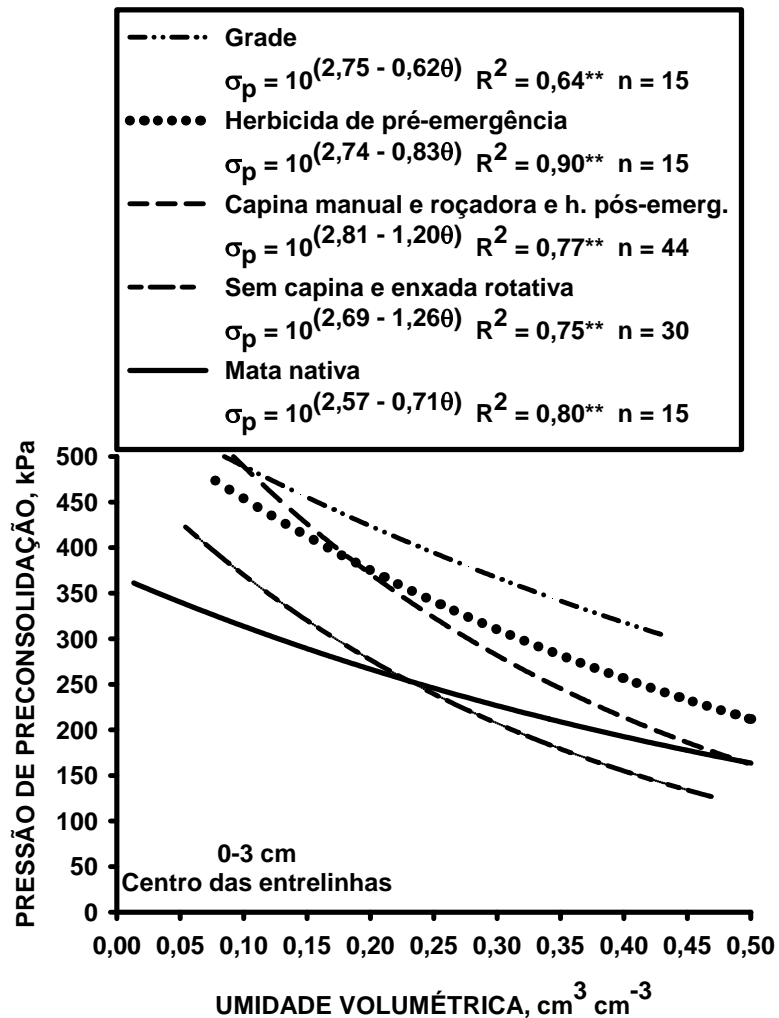


FIGURA 13 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e cultivado com cafeeiros, submetido a diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras na posição de amostragem centro das entrelinhas dos cafeeiros, na profundidade de 0-3 cm.

Pelos dados do Tabela 6, observa-se que, quando o manejo de plantas invasoras foi realizado com a CAPM e GRAD e HPOS e ENRT e SCAP, os modelos de CSC foram iguais na profundidade de 10-13 cm. Assim sendo, uma nova equação foi ajustada, considerando todos os valores de pressão de preconsolidação e umidade (Figura 14).

TABELA 6 Teste de significância⁽¹⁾ entre os modelos de capacidade de suporte de carga⁽²⁾ de um Latossolo Vermelho distroférico para os diferentes usos e manejo de plantas invasoras, para a profundidade de 10–13 cm, no centro das entrelinhas dos cafeeiros.

Usos/manejo de plantas invasoras	F	F	
		Coefficiente angular, b	Intercepto da regressão, a
Profundidade 10–13 cm			
Capina manual VS grade	H	ns	ns
Capina manual e grade VS herbicida de pós-emergência	H	ns	ns
Capina manual e grade e herbicida de pós-emergência VS enxada rotativa	H	ns	ns
Capina manual e grade e herbicida de pós-emergência e enxada rotativa VS sem capina	H	ns	ns
Capina manual e grade e herbicida de pós-emergência e enxada rotativa e sem capina VS herbicida de pré-emergência	NH	**	ns
Capina manual e grade e herbicida de pós-emergência e enxada rotativa e sem capina VS roçadora	H	**	ns
Capina manual e grade e herbicida de pós-emergência e enxada rotativa e sem capina VS mata nativa	H	**	**
Roçadora VS herbicida de pré-emergência	NH	**	ns
Roçadora VS mata nativa	H	**	ns
Mata nativa VS herbicida de pré-emergência	H	ns	**

⁽¹⁾Snedecor & Cochran (1989); ⁽²⁾ $\sigma_p = 10^{(a + b\theta)}$; NH: não homogêneo; H: homogêneo; **significativo, a 1% de probabilidade; *significativo, a 5% de probabilidade; ns: não significativo.

O solo sob MATA apresenta menor CSC na profundidade de 10-13 cm, em relação a todos os sistemas de manejo de plantas invasoras utilizados na lavoura cafeeira (Figura 14). A menor CSC para o LVdf sob MATA está relacionada ao menor valor de densidade do solo (Figura 2A).

O manejo das plantas invasoras com a ROÇA proporciona maior CSC ao LVdf até a umidade volumétrica $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Para umidades volumétricas superiores a $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a CSC do LVdf manejado com a ROÇA reduz drasticamente na profundidade de 10-13 cm em relação ao solo sob os demais sistemas de manejo de plantas invasoras e ao solo sob MATA. Resultados semelhantes foram obtidos por Kurachi & Silveira (1984), que observaram que o manejo de plantas invasoras com a roçadora em um Latossolo Vermelho foi o implemento que proporcionou maior resistência mecânica ao solo nas umidades de 0,15; 0,20; 0,21 e $0,23 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, quando comparado com a capina manual, aplicador de herbicidas, grade e enxada rotativa. Os perfis médios de resistência mecânica registrados por um penetrômetro para o Latossolo manejado com a roçadora aumentam na camada de 0-30 cm para a umidade de $0,15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (Kurachi & Silveira, 1984). Para as umidades de 0,20; 0,21 e $0,23 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, as resistências mecânicas do Latossolo manejado com a roçadora proporcionaram picos de resistência mecânica nas profundidades 10 e 15 cm, reduzindo com o aumento da profundidade (Kurachi & Silveira, 1984).

Os manejos SCAP e CAPM e GRAD e ENRT e HPOS; HPRE proporcionam comportamento intermediário quanto à CSC ao LVdf em umidades volumétricas inferiores a $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, quando comparados aos manejos ROÇA e MATA (Figura 14).

Para umidades superiores a $0,30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, o manejo HPRÉ proporciona maior CSC ao LVdf (Figura 14). Tal comportamento está associado aos elevados valores de densidade do solo obtidos para o LVdf sob o manejo HPRE, na profundidade de 10-13 cm (Figura 2A).

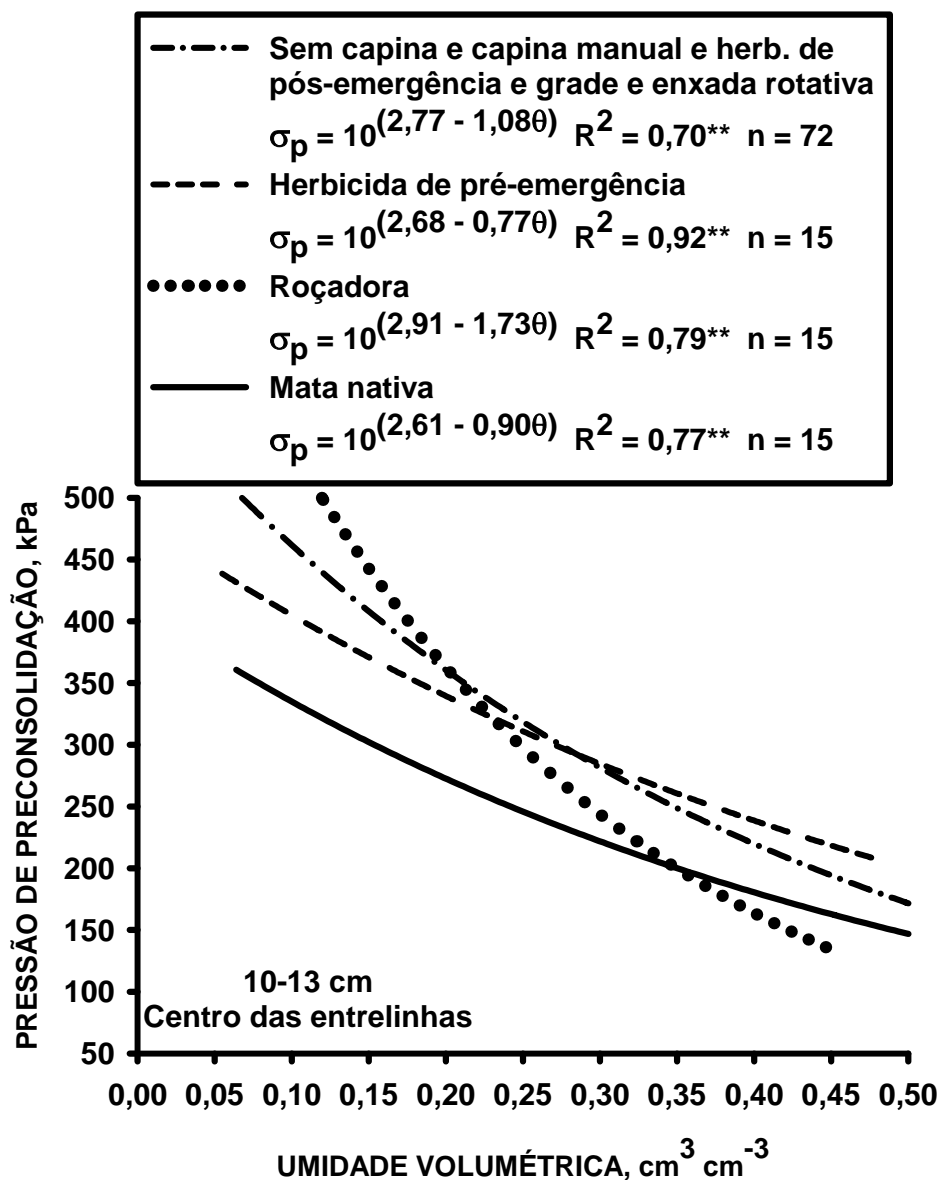


FIGURA 14 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e cultivado com cafeeiros, submetido a diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras na posição de amostragem centro das entrelinhas dos cafeeiros, na profundidade de 10–13 cm.

Quando o manejo de plantas invasoras foi realizado com a MATA e SCAP; CAPM e GRAD; ROÇA e ENRT; HPOS e HPRE, os modelos de CSC foram iguais na profundidade de 25-28 cm (Tabela 7). Assim sendo, uma nova equação foi ajustada a cada conjunto de dados, considerando todos os valores de pressão de preconsolidação e umidade (Figura 15).

TABELA 7 Teste de significância⁽¹⁾ entre os modelos de capacidade de suporte de carga⁽²⁾ de um Latossolo Vermelho distroférico para os diferentes usos e manejo de plantas invasoras, para a profundidade de 25-28 cm, no centro das entrelinhas dos cafeeiros.

Usos/manejo de plantas invasoras	F	F	
		Coefficiente angular, b	Intercepto da regressão, a
Profundidade 25–28 cm			
Mata nativa VS sem capina	H	ns	ns
Capina manual VS grade	H	ns	ns
Roçadora VS enxada rotativa	H	ns	ns
Herbicida de pós-emergência VS herbicida de pré-emergência	H	ns	ns
Mata nativa e sem capina VS capina manual e grade	H	ns	**
Mata nativa e sem capina VS roçadora e enxada rotativa	H	ns	**
Mata nativa e sem capina VS herbicida de pós-emergência e herbicida de pré-emergência	H	*	**
Capina manual e grade VS roçadora e enxada rotativa	H	**	*
Capina manual e grade VS herbicida de pós-emergência e herbicida de pré-emergência	NH	*	ns
Roçadora e enxada rotativa VS herbicida de pós-emergência e herbicida de pré-emergência	H	**	**

⁽¹⁾Snedecor & Cochran (1989); ⁽²⁾ $\sigma_p = 10^{(a + b\theta)}$; NH: não homogêneo; H: homogêneo; **significativo, a 1% de probabilidade; *significativo, a 5% de probabilidade; ns: não significativo.

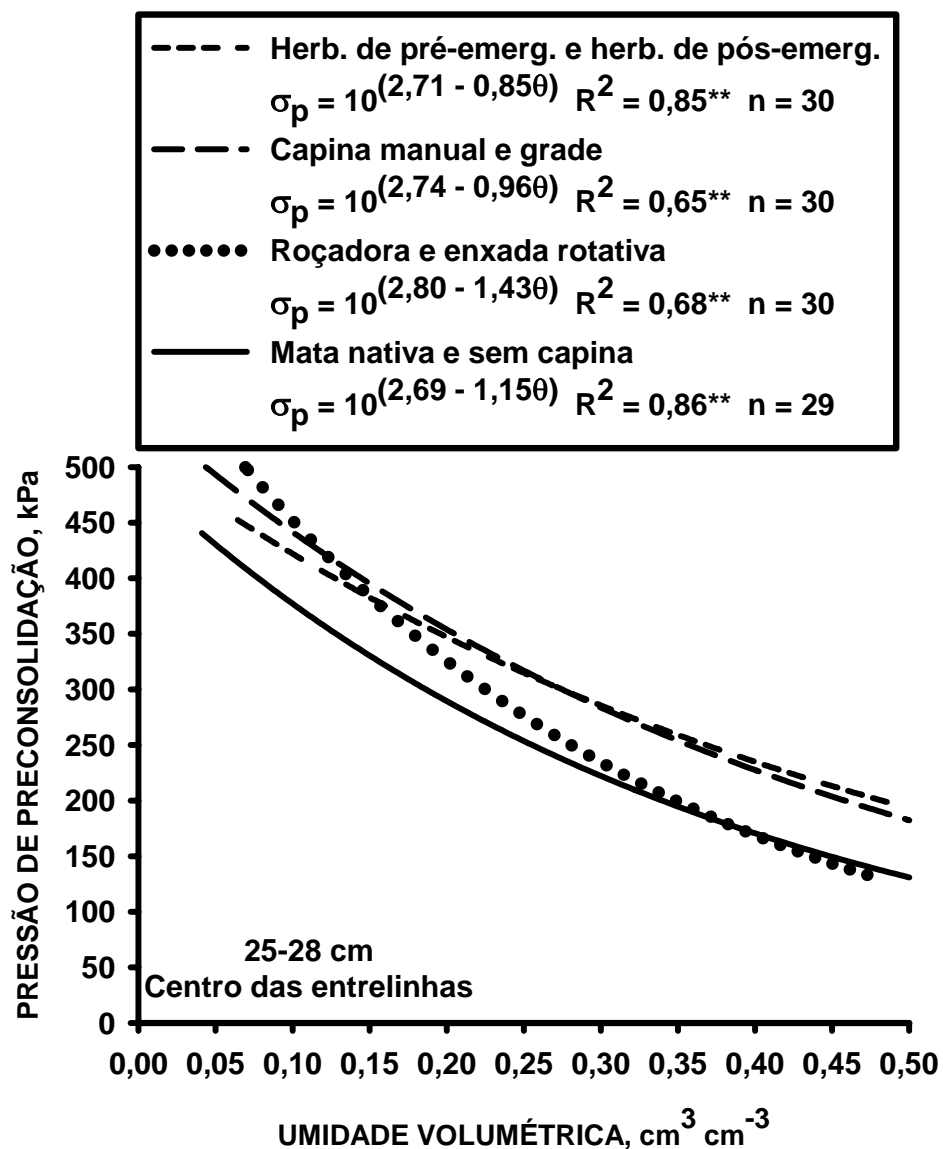


FIGURA 15 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e cultivado com cafeeiros e submetido a diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras na posição de amostragem centro das entrelinhas dos cafeeiros, na profundidade de 25–28 cm.

Pela Figura 15, verificam-se os efeitos dos manejos de plantas invasoras na CSC do LVdf em relação ao solo sob MATA. Observa-se que o manejo SCAP proporciona a mesma CSC, quando comparado ao solo sob MATA, demonstrando não haver efeitos deste manejo no LVdf, na profundidade 25-28 cm. Por outro lado, observa-se que os métodos mecânicos (CAPM, ROÇA, GRAD e ENRT) e químicos (HPRE e HPOS) utilizados no manejo de plantas invasoras na lavoura cafeeira proporcionam aumentos na CSC em relação ao solo sob mata nativa (Figura 15). O solo sob MATA e o manejo SCAP apresentam menor CSC até a umidade volumétrica de $0,38 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a partir da qual os manejos ROÇA e ENRT apresentam a menor CSC (Figura 15). Para umidades volumétricas abaixo de $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, o solo sob os manejos ROÇA e ENRT apresentam maior CSC em relação a todos os sistemas de manejo de plantas invasoras utilizados no solo sob a lavoura cafeeira e sob o solo de MATA. Para umidades volumétricas entre $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e $0,30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, o solo sob os manejos CAPM e GRAD apresentam maior CSC em relação aos manejos ROÇA e ENRT; HPOS e HPRE (Figura 15). Para umidades volumétricas maiores que $0,30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, o solo sob os manejos HPOS e HPRE apresenta maior CSC em relação aos demais manejos de plantas invasoras e em relação ao solo sob MATA, e o solo manejado com a ROÇA apresenta a mesma CSC, quando comparado ao solo sob MATA, indicando não haver efeito deste manejo na profundidade de 25-28 cm, no centro das entrelinhas dos cafeeiros (Figura 15). Kurachi & Silveira (1984) observaram menor resistência mecânica do solo manejado com a roçadora, em comparação ao solo sob capina manual, para profundidades maiores que 22 cm, na umidade de $0,23 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

6 CONCLUSÕES

A tensão máxima aplicada pelo trator cafeeiro Valmet® 68 foi de 220 kPa para o pneu dianteiro 6.00-R16 na pressão de inflação de 172 kPa.

O menor valor de umidade crítica para o tráfego do trator cafeeiro Valmet® 68 foi de $0,27 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, para o manejo sem capina, na profundidade de 0–3 cm.

O solo sob mata nativa apresenta menor capacidade de suporte de cargas nas três profundidades estudadas em relação ao solo cultivado com cafeeiros e submetido a diferentes manejos de plantas invasoras.

O manejo de plantas invasoras utilizando grade e herbicida de pré-emergência favorece incrementos dos valores de densidade do solo e capacidade de suporte de carga na profundidade de 0-3 cm.

Os diferentes manejos de plantas invasoras utilizados no centro das entrelinhas da lavoura cafeeira não influenciaram a densidade do solo e o teor de carbono orgânico do Latossolo, na profundidade de 25-28 cm, em relação ao solo sob mata nativa.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKKER, J. J. H. van den; SOANE, B. Compaction. In: HILLEL, D.; ROSENZWEIG, C.; POWLSON, D.; SCOW, K.; SINGER, M.; SPARKS, D. **Encyclopedia of soils in the environment**. New York: Academic, 2005. v. 1, p. 285–293.

ALAKUKKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W. C. T.; TIJINK, F. G. J.; LINDEN, J. P. van der; PIRES, S.; SOMMER, C.; SPOOR, G. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review: part I - machine/soil interactions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, n. 1/2, p. 145-160, Oct. 2003.

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeito de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica L.*) sobre a qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 711-721, out./dez. 2000.

ARVIDSSON, J. Influence of soil texture and organic matter on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory compression experiments. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 49, n. 1/2, p. 159-170, Nov. 1998.

BOWLES, J. E. **Engineering properties of soils and their measurements**. 3. ed. Auckland: McGraw-Hill, 1986. 218 p.

CORRÊA, S.; REETZ, E. R.; SANTOS, C.; SILVEIRA, D. da; CARVALHO, C. de; BELING, R. R. Café do amanhã. In: BELING, R. R. (Ed.). **Anuário brasileiro do café**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2009. p. 20–91.

DANE, J. H.; HOPMANS, J. W. Hanging water column. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. v. 4, p. 680–683.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. part I, p. 545-567.

DIAS JUNIOR, M. de S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 55-94.

DIAS JUNIOR, M. de S. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic**. 1994. 114 p. Thesis (Ph.D. in Crop and Soil Science) - Michigan State University, East Lansing.

DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F. J. Revisão de literatura: o processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 175-182, jan./mar. 1996.

DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F. J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, Lansing, v. 8, n. 2, p. 139-151, Nov. 1995.

DISERENS, E. **TASC**: tyres/tracks and soil compaction: a practical tool to prevent soil compaction damage, MS Excel 2000. Zurich: Agroscope FAT Tänikon, 2005. 68 p. Manual.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises do solo**. 2. ed. Brasília: Produção de informação, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FARIA, J. C.; SHAEFER, C. E. R.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M. Effects of weed control on physical and micropedological properties of brazilian ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 3, p. 731-741, jul./set. 1998.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCAR, 2000. p. 255-258.

GROHMANN, F.; RAIJ, B. van. Dispersão mecânica e pré-tratamento para análise granulométrica de Latossolos argilosos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 1, n. 1, p. 52-53, jan./abr. 1977.

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. v. 4, p. 201-228.

HORN, R.; VOSSBRINK, J.; BECKER, S. Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, n. 2, p. 207-219, Dec. 2004.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 211-218, abr./jun. 1999a.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três Latossolos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 497-506, jul./set. 1999b.

KURACHI, S. A. H.; SILVEIRA, G. M. da. **Compactação do solo em cafezal provocada por diferentes métodos de cultivo**. Campinas: IAC, 1984. 28 p. (Boletim do Instituto Agrônomo de Campinas).

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C.; USECHE, R. A. Compression of agricultural soil from eight soil orders. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 3, p. 450-457, May/June 1980.

LEBERT, M.; BÖKEN, H.; GLANTE, F. Soil compaction – indicators for assessment of harmful changes to the soil in the context of the German Federal soil protection act. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 82, n. 3, p. 388-397, Feb. 2007.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas:** plantio direto e convencional. 4. ed. Nova Odessa: Plantarum, 1994. 299 p.

MELLO, C. R.; OLIVEIRA, G. C. de; RESCK, D. V. S.; LIMA, J. M. de; DIAS JUNIOR, M. de S. Estimativa da capacidade de campo baseado no ponto de inflexão da curva característica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 836–841, jul./ago. 2002.

OLIVEIRA, G. C. de; DIAS JUNIOR, M. de S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 291-299, fev. 2003.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo**. São Paulo: Fundação Cargil, 1987. 170 p.

RESENDE, M.; SANTANA, D. P. Uso das relações K_i e K_r na estimativa da mineralogia para classificação de Latossolos. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS/SBCS, 1988. p. 225-232.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. de. **Guia de herbicidas**. 5. ed. Londrina: IAPAR, 2005. 592 p.

SIGMAPLOT. **Scientific graphing software**: versão 10. 0. San Rafael: Jandel, 2006.

SILVA, A. J. N. da; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 921-930, nov./dez. 2006.

SILVA, R. B.; DIAS JUNIOR, M. de S.; SILVA, F. A. M.; FOLE, S. M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 973-983, nov./dez. 2003.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SOARES, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um argissolo vermelho-amarelo distrófico arenico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I: estado inicial de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 1, p. 1-8, jan./fev. 2002.

SNEDECOR, G. W.; COCHARAN, W. G. **Statistical methods**. 8. ed. Ames: Iowa State University, 1989.

SOANE, B. D. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, n. 1/2, p. 179-201, Apr. 1990.

TAYLOR, D. W. **Fundamentals of soil mechanics**. New York: J. Wiley, 1948. 770 p.

TIMM, L. C.; PIRES, L. F.; REICHARDT, K.; ROVERATTI, R.; OLIVEIRA, J. C. M.; BACCHI, O. O. S. Soil bulk density evaluation by conventional and nuclear methods. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 43, p. 97-103, 2005.

TIMM, L. C.; PIRES, L. F.; ROVERATTI, R.; ARTHUR, R. C. J.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J. C. M.; BACCHI, O. O. S. Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 1, p. 55-64, jan./fev. 2006.

TOPP, G. C.; FERRÉ, P. A. Water content. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. v. 4, p. 417–424.

YANG, Y.; WANG, H.; TANG, J.; CHEN, X. Effects of weed management practices on orchard soil biological and fertility properties in southeastern China. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, n. 1, p. 179-185, Mar. 2007.

ZHANG, B.; HORN, R.; HALLETT, P. D. Mechanical resilience of degraded soil amended with organic matter. **Soil Science Society American of Journal**, Madison, v. 69, n. 3, p. 864–871, May 2005.

CAPÍTULO 3

CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE UM LATOSSOLO, INDUZIDA PELO TRÁFEGO DE MÁQUINAS E PELOS MANEJOS DE PLANTAS INVASORAS EM LAVOURA CAFEEIRA

(Preparado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo)

1 RESUMO

A amostragem na linha de tráfego das máquinas e equipamentos tem a finalidade de identificar possíveis restrições químicas, físicas e hídricas ao desenvolvimento adequado de plantas perenes, bem como avaliar a influência do manejo de plantas invasoras e do tráfego das máquinas e equipamentos. Para isso, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a influência do tráfego de máquinas e equipamentos e dos diferentes manejos de plantas invasoras na densidade do solo no teor carbono orgânico e na capacidade de suporte de cargas do solo. Este estudo foi conduzido na Fazenda da Epamig, no município de São Sebastião do Paraíso, MG (Latitude de 20°55'00'' S e Longitude 47°07'10'' W de Greenwich, à altitude de 885 m). No período de janeiro de 2006 a dezembro de 2007, o número médio de operações de manejo das plantas invasoras variou de acordo com o método adotado: sem capina (0), capina manual (8), herbicida de pós-emergência (8), roçadora (9), enxada rotativa (8), grade (8) e herbicida de pré-emergência (6). Além das operações de manejo de plantas invasoras, as pulverizações foliares, o controle de pragas e doenças e as adubações são realizados com a utilização de máquinas. Todos os equipamentos utilizados no manejo da lavoura cafeeira foram tracionados por um trator cafeeiro marca Valmet® modelo 68 massa 3.900 kg, com pneus traseiros 12.4-R28 na pressão de inflação 18 psi = 124 kPa e pneus dianteiros 6-16 na pressão de inflação 25 psi = 172 kPa. Amostras indeformadas foram coletadas nas profundidades de 0-3, 10-13 e 25-28 cm de um Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf) sob mata nativa e cultivado com cafeeiros, submetido a diferentes manejos de plantas invasoras. Na lavoura cafeeira, a amostragem foi realizada na linha de tráfego das máquinas e equipamentos, a 0,8 m do caule dos cafeeiros. O uso do solo e o tráfego das máquinas e equipamentos na lavoura cafeeira promovem aumentos nos valores de densidade do solo e de capacidade de suporte de carga e redução nos valores de carbono orgânico, nas três profundidades, em relação ao solo sob mata nativa. O manejo de plantas invasoras com a roçadora promove maior acúmulo de carbono orgânico e maior capacidade de suporte de cargas na profundidade de 0-3 cm. Os diferentes manejos e o tráfego de máquinas na lavoura cafeeira proporcionaram valores iguais de densidade do solo na profundidade 10-13 cm. A roçadora, o herbicida de pós-emergência e a enxada rotativa e o tráfego de máquinas promoveram aumentos na densidade do solo e na capacidade de suporte de cargas na profundidade de 25-28 cm.

Palavras-chave: linha de tráfego; pressão de preconsolidação; densidade do solo; carbono orgânico do solo.

2 ABSTRACT

Sampling in the traffic line of the machinery and equipment is intended to identify possible chemical, physical and hydric restrictions to the proper development of perennial crops and to evaluate the influence of weed management and traffic of machines and equipment. For this, the objective of this study was to evaluate the influence of the traffic of the machinery and equipment and of the different weed management in the bulk density, in the organic carbon content and in the load bearing capacity of the soil. This study was conducted at Epamig Farm in São Sebastião do Paraíso, MG (Latitude 20 ° 55'00"S and longitude 47 ° 07'10"W Greenwich at an altitude of 885 m). From January 2006 to December 2007 the average number of operations of the weed management varied according to the method used: without hoe (0), manual hoe (8), post-emergence herbicide (8); mower (9), rotary tiller (8), coffee tandem disk harrow (8) and pre-emergence herbicide (6). In addition to operations weed management as foliar sprays, pests control and diseases and fertilizers are made with the use of machinery. All equipments used in the management of coffee plantation were pulled by a coffee tractor Valmet® model 68 mass 3,900 kg with rear tires 12.4-R28 inflation pressure 18 psi = 124 kPa and 6-16 in the front tire inflation pressure 25 psi = 172 kPa. Undisturbed samples were collected at 0-3, 10-13 and 25-28 cm depths in a Dystroferric Red Latosol (LVdf) under native forest and cultivated with coffee crop under different weed management. In the coffee crop sampling was performed in the traffic line of the machines and equipment to 0.8 m from the stem of the plants. The soil use and machines traffic in the coffee plantation promote increases in the bulk density and in the bearing capacity and reduced values of organic carbon in the three depths in relation to the soil under native forest. The weed management with the mower promotes greater accumulation of organic carbon and greater load bearing capacity at 0–3 cm a depth. The different management and the machines traffic in the coffee plantation provided equal values of bulk density at the 10–13 cm depth. The mower, post-emergence herbicide and rotative hoe promote increases in the bulk density and in the bearing capacity at 25–28 cm depth.

Key words: traffic line; precompression stress; bulk density; soil organic carbon.

3 INTRODUÇÃO

A mecanização intensiva está entre as tecnologias mais utilizadas para reduzir os custos na lavoura cafeeira, sendo vital para a competitividade e constituindo numa estratégia fundamental de garantia da sobrevivência da cafeicultura brasileira (Corrêa et al., 2009), levando os produtores a intensificarem as operações mecanizadas. No entanto, o tráfego de máquinas com elevadas cargas por roda e em condições inadequadas de umidade tem sido o principal responsável pela degradação da estrutura do solo (Lebert et al., 2007).

Quando os solos são submetidos a tensões aplicadas à superfície do solo, essas tensões podem ser transmitidas ao longo do perfil, resultando em degradação da estrutura do solo e provocando compactação adicional (Lebert et al., 2007). Assim, a tensão aplicada ao solo é sempre uma função da tensão na interface solo-pneu, a qual é função da pressão de inflação do pneu e da carga por roda, bem como das propriedades dos pneus e das condições do solo (Arvidsson & Keller, 2007).

Na lavoura cafeeira, o aumento da resistência mecânica na região da linha de tráfego das máquinas e equipamentos ocorre em virtude de a área de trabalho para mecanização da cultura ser restrita a pequenas faixas existentes nas entrelinhas de plantio, o que obriga as máquinas a transitarem sempre no mesmo local (Carvalho Filho et al., 2004).

No manejo de lavouras cafeeiras, em média, são realizadas entre doze e dezessete operações mecanizadas anuais com tratores de massa estática entre 3.020 kg e 4.393 kg e equipamentos entre 310 kg e 2.600 kg (Silva et al., 2006). No entanto, tratores de pequeno porte com massa de 870 kg e alta pressão de inflação dos pneus 400 kPa apresentam alto potencial em causar danos à estrutura dos solos até a profundidade de 20 cm, devido à pressão de contato

média ser em torno de 400 kPa, além da baixa eficiência nas operações de preparo do solo e alta intensidade de tráfego (Zhang et al., 2006). Assim, o tamanho do trator pode não ser um bom indicador do potencial de compactação do solo (Zhang et al., 2006).

O tráfego excessivo de máquinas na região da linha de tráfego das máquinas e equipamentos promove deformações quando as tensões aplicadas são superiores à capacidade de suporte de carga do solo. As deformações no solo causadas pelo tráfego de máquinas e equipamentos podem ser identificadas pela presença de sulcos nesta região, comprometendo a qualidade estrutural dos solos (Fidalski et al., 2007). Portanto, a amostragem na linha de tráfego das máquinas e equipamentos tem a finalidade de identificar possíveis restrições químicas, físicas e hídricas ao desenvolvimento adequado de plantas perenes (Fidalski et al., 2007), bem como avaliar a influência do manejo de plantas invasoras nos efeitos do tráfego de máquinas e equipamentos.

Do ponto de vista de trafegabilidade de máquinas em lavouras cafeeiras, este aumento da resistência mecânica promove aumento da capacidade de suporte de cargas expressa pela pressão de preconsolidação, aumentando a faixa de umidade adequada para o tráfego de máquinas. Porém, aumentos excessivos da resistência mecânica podem afetar severamente a expansão do sistema radicular e o transporte de água e de assimilados das raízes para a parte aérea (Rena & Guimarães, 2000).

Além de todos os fatores citados anteriormente, referentes à utilização de máquinas em lavouras cafeeiras, o manejo de plantas invasoras talvez seja a atividade que mais altera a estrutura dos solos, devido ao número de operações necessárias ao longo do ano para o controle satisfatório dessas plantas, além da alteração da cobertura vegetal do solo. Portanto, o manejo de plantas invasoras pode afetar severamente a estrutura dos solos, alterando o meio onde as raízes se desenvolvem.

A alteração nos atributos físicos do solo pelo manejo de plantas invasoras, como porosidade total, densidade do solo, estabilidade de agregados em água (Silveira et al., 1985; Alcântara & Ferreira, 2000b), bem como alterações micro e macroestruturais (Faria et al., 1998) interferem no comportamento compressivo do solo e, conseqüentemente, na capacidade de suporte de cargas do solo (Araujo Junior et al., 2008). Assim, conhecer como o manejo de plantas invasoras altera os atributos físicos do solo e a capacidade de suporte de carga, juntamente com as características das máquinas utilizadas nestes manejos, torna-se essencial para adaptar o manejo de lavouras cafeeiras de maneira sustentável.

Portanto, para se estimar o risco de compactação do solo, deve-se levar em consideração, além das características das máquinas, a profundidade máxima de trabalho dos implementos e os parâmetros do solo como estrutura, tipo de solo, umidade no momento da realização das operações mecanizadas (O'Sullivan et al., 1999; Keller, 2005; Bastgen & Diserens, 2009), bem como a capacidade de suporte de carga dos solos expressa pela pressão de preconsolidação (Dias Junior et al., 2007, 2008). Para isso, a pressão de preconsolidação tem sido utilizada como indicador da capacidade de suporte de carga e da resistência mecânica do solo para estimar quantitativamente o risco de compactação do solo (Alakukku et al., 2003) em uma condição específica do solo num dado conteúdo de água ou potencial de água (Berli et al., 2003; Oliveira et al., 2003; Peng et al., 2004; Dias Junior et al., 2007).

Diante dessas considerações, com este estudo, testou-se a hipótese de que o uso do solo com lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras ao longo de 30 anos, em comparação à mata nativa, promove alterações estruturais no solo e os modelos de capacidade de suporte de carga poderão ser utilizados como indicadores destas alterações. Para isso, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a influência do tráfego de máquinas e

equipamentos e dos diferentes manejos de plantas invasoras na densidade do solo, no teor carbono orgânico e na capacidade de suporte de cargas do solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área experimental

Este estudo foi realizado na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (Epamig), localizada no município de São Sebastião do Paraíso, na mesorregião Sul e Sudoeste de Minas Gerais, latitude de 20°55'00'' S e longitude 47°07'10'' W de Greenwich e altitude de 885 m. O relevo na área experimental é classificado como suave ondulado (8% de declividade), o que possibilita ampla mecanização. A região apresenta precipitação média anual de 1.470,4 mm, temperatura média anual de 20,8°C e temperatura média máxima de 27,6°C e a média mínima de 14,1°C (Alcântara & Ferreira, 2000b).

A área experimental foi plantada com cafeeiros da cultivar Catuaí Vermelho LCH 2077-2-5-99, no espaçamento de 4 x 1 m, no ano de 1974. O experimento foi instalado no delineamento experimental de blocos casualizados, com sete tratamentos e três repetições. Cada condição de manejo foi aplicada em três entrelinhas de 36 m de comprimento por 2,4 m de largura. As linhas de plantio foram mantidas sempre limpas por meio de capina manual ou da aplicação de herbicidas. O experimento foi instalado em setembro do ano 1977, sob um Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf) textura argilosa e mineralogia gibbsítica (Embrapa, 2006) originado de basalto (Tabela 1).

TABELA 1 Teores de óxidos totais extraídos pelo ataque sulfúrico e granulometria do Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) sob mata nativa e cultivado com cafeeiros localizado na Epamig, São Sebastião do Paraíso, MG.

Uso	Óxidos					Granulometria ⁽³⁾		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki ⁽¹⁾	Kr ⁽²⁾	Argila	Silte	Areia
	-----g kg ⁻¹ -----							
Mata nativa	78	250	260	0,53	0,32	600	200	200
Cafeeiros	70	250	270	0,47	0,28	560	230	210

⁽¹⁾Ki: relação molecular SiO₂/Al₂O₃ x 1,7; ⁽²⁾Kr: 1,7 x SiO₂/[Al₂O₃ + (Fe₂O₃ x 0,6375)];

⁽³⁾Média de três repetições.

4.2 Condução do experimento

Em 26 de dezembro de 2005, devido ao declínio de produção da lavoura implantada no ano de 1974, a mesma foi substituída por uma lavoura da cultivar Paraíso. A lavoura anterior foi retirada da área com o auxílio de um subsolador e, posteriormente, feito o sulcamento no mesmo local da linha de plantio anterior, tendo essas operações sido realizadas deixando intacta a linha de tráfego das máquinas e equipamentos.

A correção e adubações utilizando-se fertilizantes organo-minerais foram realizadas no plantio, adicionando-se 200 g m⁻¹ linear de calcário dolomítico, 200 g m⁻¹ linear de gesso agrícola, 5 L m⁻¹ linear de palha de café e 400 g m⁻¹ de super fosfato simples.

As operações de controle de plantas invasoras foram efetuadas quando se observava 90% da área coberta pelas plantas invasoras e estas apresentavam cerca de 45 cm de altura (Alcântara & Ferreira, 2000a, 2000b). Assim, o número médio de operações necessárias para o controle satisfatório das plantas invasoras durante o ano variou de acordo com o método adotado (Tabela 2).

O manejo capina manual promove cobertura limitada do solo contra o impacto direto das gotas de chuva (Faria et al., 1998), nas entrelinhas dos cafeeiros, propiciando perda de água e arraste de sedimentos (Carvalho et al., 2007). O herbicida de pós-emergência utilizado foi o glyphosate, aplicado com o auxílio de uma bomba costal, na dose de 2,0 L.ha⁻¹ de produto comercial e 0,72 kg ha⁻¹ de ingrediente ativo na formulação de concentrado solúvel, 360 g L⁻¹ e aplicado com um volume de calda de 400 L ha⁻¹. A roçadora utilizada foi da marca Kamaq[®] modelo KD 132, com largura de corte 1,32 m e massa estática de 340 kg. A enxada rotativa tem cinco flanges, sendo as duas laterais com três facas e as três centrais, com seis facas cada uma. Sua profundidade de trabalho foi de aproximadamente 10 cm. A grade é composta de duas seções dispostas em tandem e cada seção é equipada com sete discos lisos com largura de corte de 1,3 m com massa estática de 300 kg.

O herbicida de pré-emergência utilizado possui o de ingrediente ativo oxyfluorfen (2-cloro-a,a,a-trifluoro-p-tolyl-3-ethoxy-4-nitrophenyl ether), aplicado com o auxílio de uma bomba costal, na dose de 2,0 kg ha⁻¹ de produto comercial e 0,48 kg ha⁻¹ de ingrediente ativo na formulação de concentrado emulsionável, 240 g L⁻¹ (Rodrigues & Almeida, 2005) aplicado a um volume de calda de 400 L ha⁻¹. Para esta aplicação, cuidou-se para que o solo estivesse livre de restos culturais e plantas invasoras, sendo realizada uma erradicação das plantas invasoras existentes na área antes da aplicação de herbicida.

Além das operações para o controle das plantas invasoras (Tabela 2), as pulverizações foliares e o controle de pragas e doenças foram realizadas cinco operações por ano, utilizando um pulverizador modelo Arbus 2000 marca Jacto com massa estática de 2.600 kg, quando carregado. As adubações são realizadas três vezes ao ano, utilizando uma adubadora modelo Komander H8S marca Kamaq, com massa estática quando carregada de 770 kg.

Todos os equipamentos utilizados no manejo da lavoura cafeeira foram tracionados por um trator cafeeiro marca Valmet[®] modelo 68 massa 3.900 kg, peso 38245 N, obtido pela expressão ($3.900 \text{ kg} \times 9,80665 \text{ m s}^{-2}$) pneus traseiros 12.4-R28 (31,5 cm de largura por 71 cm de diâmetro na pressão de inflação 18 psi = 124 kPa) e pneus dianteiros 6-16 (15,2 cm de largura por 41 cm de diâmetro na pressão de inflação 25 psi = 172 kPa). A distribuição de peso para o trator Valmet[®] 68 foi de 65% para o eixo traseiro (2.535 kg) e 35% para o eixo dianteiro (1365 kg). A tensão máxima vertical e a pressão de contato média exercida pelos diferentes rodados foram obtidas utilizando o programa TASC (Diserens, 2005).

4.3 Amostragem

Amostras de solo com estrutura indeformada foram coletadas entre os dias 17 e 23/12/2007. Para cada manejo de plantas invasoras foram coletadas 15 amostras indeformadas, aleatoriamente distribuídas nas profundidades 0-3, 10-13 e 25-28 cm, totalizando 315 amostras [15 amostras x 3 profundidades x 7 sistemas de manejo de plantas invasoras]. Além da amostragem realizada na lavoura cafeeira, foram obtidas, adicionalmente, 45 amostras indeformadas [15 amostras x 3 profundidades] em uma mata nativa também sob um LVdf adjacente à área de estudo, as quais serviram como critério para a comparação dos atributos avaliados. A amostragem na lavoura cafeeira foi realizada na posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos a 0,8 m do caule dos cafeeiros, alternando-se o lado de amostragem na mesma entrelinha, pois, espera-se que, do lado da declividade da área, os efeitos do tráfego sejam mais graves pelo deslocamento do centro de gravidade do trator.

TABELA 2 Manejos das plantas invasoras, número de operações realizadas no período de janeiro de 2006 a dezembro de 2007, espécie, nome comum e família das plantas invasoras encontradas na área na ocasião da amostragem.

Manejos	Operações	Espécies das plantas invasoras/nome comum/família
Sem capina (SCAP)	0	<i>Marmodica charantia</i> L. (melão-de-são-caetano, Cucurbitaceae); <i>Ephorbia heterophylla</i> L. (leiteira, Euphorbiaceae); <i>Digitaria insularis</i> (L.) Mea ex Ekman, capim-amargoso, Poaceae; <i>Panicum maximum</i> Jacq. (capim-colonião, Poaceae); <i>Nicandra physaloides</i> Gaertn. (joá-de-capote, Solanaceae); <i>Ipomoea acuminata</i> , (corda-de-viola, Convolvulaceae); <i>Amaranthus viridis</i> , (caruru-de-mancha, Amaranthaceae).
Capina manual (CAPM)	8	<i>Ephorbia heterophylla</i> L. (leiteira, Euphorbiaceae) <i>Digitaria horizontalis</i> Willd., (capim-colchão, Poaceae); <i>Cenchrus echinatus</i> L., (timbête, Poaceae).
Herbicida de pós-emergência (HPOS)	8	<i>Amaranthus viridis</i> (caruru-de-mancha, Amaranthaceae) <i>Commelina benghalensis</i> L. (trapoeraba; Commelinaceae)
Roçadora (ROÇA)	9	<i>Cyperus rotundus</i> L, (tiririca, Cyperaceae); <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers., (grama-seda, Poaceae); <i>Amaranthus viridis</i> , (caruru-de-mancha, Amaranthaceae); <i>Brachiaria decumbens</i> Stapf., (braquiária, Poaceae).
Enxada rotativa (ENRT)	8	<i>Cyperus rotundus</i> L, (tiririca, Cyperaceae); <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. (grama-seda, Poaceae); <i>Bidens pilosa</i> L., (picão-preto, Compositae).
Grade (GRAD)	8	<i>Cyperus rotundus</i> L, (tiririca, Cyperaceae); <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers., (grama-seda, Poaceae); <i>Brachiaria plantaginea</i> (Link) Hitchc., (marmelada, Poaceae).
Herbicida de pré-emergência (HPRE)	6	Ausência de plantas invasoras na ocasião da amostragem

As amostras indeformadas foram coletadas utilizando-se um amostrador de Uhland e anéis de alumínio de 2,50 cm de altura por 6,30 cm de diâmetro. Em seguida, as amostras foram embaladas em filme plástico (PVC) e parafinadas, para a preservação da estrutura e transportadas até o laboratório. No laboratório, as amostras foram moldadas com o auxílio de uma faca para que o volume do solo correspondesse ao volume do anel.

4.4 Análises de laboratório

Os teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 foram determinados após digestão com H_2SO_4 (9,4 M) (Embrapa, 1997). Os índices de intemperismo K_i e K_r foram calculados pelas relações moleculares, conforme Resende & Santana (1988).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (Day, 1965), utilizando como dispersante químico 50 ml de NaOH a 0,1N em contato com a amostra, durante 24 horas. A dispersão mecânica foi realizada com a adição de 20 g de areia grossa e agitação lenta durante 4 horas em agitador do tipo Wiegner, com velocidade de 30 rotações por minuto (Grohmann & Rajj, 1977).

Os teores de carbono orgânico do solo foram determinados pelo método da combustão via úmida com oxidação do carbono orgânico com a adição de 10 mL de solução digestora de dicromato de sódio e ácido sulfúrico ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 4 N + H_2SO_4 10 N) (Rajj et al., 1987).

Três amostras de cada tratamento foram mantidas em uma bandeja com água destilada até 2/3 da altura, para que ocorresse a saturação das mesmas, sendo este ponto atingido, em média, após 24 horas. O restante das amostras de cada tratamento foi seco ao ar em laboratório, para o equilíbrio em diferentes umidades volumétricas. Após atingir o equilíbrio, essas amostras indeformadas foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial (Bowles, 1986; Dias Junior,

1994). Para a realização do ensaio de compressão uniaxial, as amostras indeformadas foram mantidas nos cilindros de alumínio e mantidos dentro da célula de compressão e, subsequentemente, submetidos às pressões crescente de 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa em um consolidômetro Durham Geo Slope Indicator® modelo S-450 Terraload. Cada pressão foi aplicada até obter 90% da deformação máxima (Taylor, 1948). Após a liberação da pressão, as amostras foram secas em estufa, a 105°-110°C, por 48 horas, e determinada a massa do solo seco.

A densidade do solo foi calculada de acordo com Grossman & Reinsch (2002). A umidade volumétrica foi obtida conforme a equação 1 (Topp & Ferré, 2002) 1.

$$\theta = \left(\frac{Ma}{Ms} \right) \times Ds \quad [\text{eq. 1}]$$

em que θ é a umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), Ma é a massa de água (g), Ms é a massa de solo seco (g) e Ds é a densidade do solo (g cm^{-3}).

A pressão aplicada às amostras indeformadas e a densidade do solo foram utilizadas para a construção das curvas de compressão do solo, em que, no eixo das abscissas (X), colocou-se a pressão aplicada em escala logarítmica e no eixo das ordenadas (Y) a densidade do solo (Larson et al., 1980). A elaboração das curvas de compressão do solo e o valor da pressão de preconsolidação (σ_p) para cada amostra foram obtidos utilizando-se o método proposto por Dias Junior & Pierce (1995).

Aos valores de pressão de preconsolidação (σ_p) e aos valores de umidade volumétrica (θ) correspondentes em cada sistema de manejo e profundidade foi ajustada uma regressão exponencial decrescente do tipo [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$], proposta por Dias Junior (1994). As letras, “a” e “b” representam os parâmetros empíricos de ajuste do modelo, ou seja, o coeficiente linear e o angular, respectivamente. Esta relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade (ou qualquer outra

medida que se relaciona com o conteúdo de água no solo) é conhecida como modelo de capacidade de suporte de carga do solo.

4.5 Análises estatísticas

As regressões para a obtenção dos modelos de capacidade de suporte de carga foram realizadas utilizando-se o programa SigmaPlot (2006). As comparações entre os modelos foram feitas utilizando-se o teste de homogeneidade de modelos lineares descritos por Snedecor & Cochran (1989). Para a obtenção dos modelos lineares a partir do modelo exponencial [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$] aplicou-se o logaritmo nos valores de pressão de preconsolidação, resultando em uma equação do tipo $\log \sigma_p = a + b\theta$. O teste de homogeneidade de modelos lineares considera dois modelos e estes são comparados pela análise do intercepto “a”, do coeficiente angular “b” e homogeneidade dos dados (F).

Os resultados das análises de densidade do solo e carbono orgânico do solo foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias feita pelo teste de Scott Knott, utilizando-se o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2000).

5 RESULTADOS & DISCUSSÃO

5.1 Densidade do solo e carbono orgânico na posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos

Nas Figuras 1A e 1B, estão apresentados os valores de densidade do solo e os teores de carbono orgânico, para as profundidades 0–3, 10–13 e 25–28 cm do LVdf sob mata nativa e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras. Para as três profundidades, a densidade do solo na linha de tráfego do solo sob lavoura cafeeira foi significativamente superior à do solo sob mata nativa (Figura 1A),

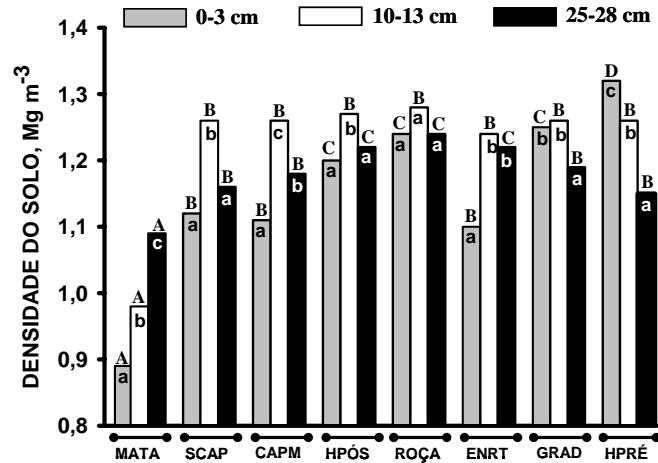
corroborando as observações de Alcântara & Ferreira (2000b), Oliveira et al. (2003) e Silva & Cabeda (2006) de maiores valores de densidade do solo em áreas cultivadas em relação ao solo sob mata nativa.

A alteração estrutural do solo sob lavoura cafeeira deve-se à influência da pressão exercida pelos rodados das máquinas e dos componentes dos equipamentos que agem em contato direto com o solo. A pressão de contato média para os pneus dianteiros 6-16 foi de 175 kPa e de 94 kPa, para o pneu traseiro 12.4-R28 do trator cafeeiro Valmet® modelo 68. A tensão máxima foi de 220 kPa para os pneus dianteiros. No entanto, Arvidsson & Keller (2007) sugerem que a tensão é distribuída de maneira desigual ao longo da carcaça do pneu e, abaixo das garras, os valores podem atingir de 350 a 700 kPa para rodados que apresentam pressão de contato média entre 81–142 kPa.

Para a profundidade de 0–3 cm, a densidade do solo segue a seguinte ordem: HPRE>GRAD = ROÇA = HPOS>SCAP = CAPM = ENRT>MATA (Figura 1A). É importante ressaltar que o aumento da densidade do solo na linha de tráfego da profundidade de 0–3 cm não está relacionado ao número de operações realizado para o controle satisfatório das plantas invasoras, uma vez que o manejo com HPRE foi realizado em menor intensidade do que os demais (Tabela 2).

Assim, os valores de densidade do solo na profundidade de 0-3 cm estão relacionados com as reduções nos conteúdos de carbono orgânico do solo (Figuras 1A e 1B) e ausência da cobertura vegetal proporcionada pelos manejos HPRE e GRAD, que favorecem o encrostamento superficial. O encrostamento superficial nesses manejos foi observado no campo e caracterizado pelo aumento da densidade do solo e da sua capacidade de suporte de carga.

(A)



(B)

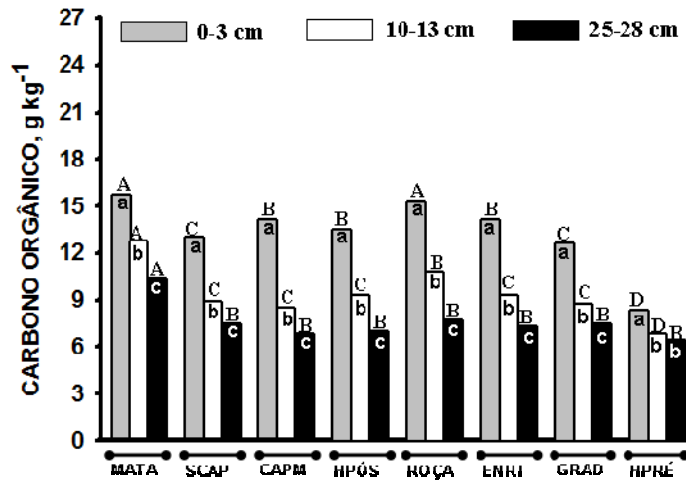


FIGURA 1. Densidade do solo (A) e carbono orgânico (B) de um Latossolo Vermelho distroférrico sob mata nativa e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos de cafeeiros submetidos a diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras. Mata nativa (MATA), sem capina (SCAP), capina manual (CAPM), herbicida de pós-emergência (HPOS), roçadora (ROÇA), enxada rotativa (ENRT), grade (GRAD) e herbicida de pré-emergência (HPRÉ). As médias seguidas da mesma letra minúscula comparam as profundidades dentro do mesmo manejo e maiúscula entre os diferentes manejos na mesma profundidade não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

A desestruturação da camada superficial do solo proporcionada pelas flanges da enxada rotativa, os números de operações necessários ao longo de um ano com a ROÇA e a pequena vegetação proporcionada pelo manejo HPOS podem justificar os valores de densidade do solo na profundidade 0-3 cm (Figura 1A).

Os teores de carbono orgânico do solo sob MATA foram maiores do que os do solo sob lavoura cafeeira, exceto para o manejo com ROÇA na profundidade de 0-3 cm que proporcionou teores iguais de carbono orgânico quando comparados ao solo sob MATA (Figura 1B). Por outro lado, o manejo das plantas invasoras com HPRE na lavoura cafeeira reduz os teores de carbono orgânico, mesmo em relação aos demais manejos de plantas invasoras até a profundidade de 10-13 cm (Figura 1B). Este efeito é atribuído à ausência de cobertura vegetal proporcionada pelo manejo de plantas invasoras com HPRE (Alcântara & Ferreira, 2000b).

Na profundidade 10-13 cm, os valores de densidade do solo foram iguais para o solo da lavoura cafeeira submetido a diferentes manejos de plantas invasoras e superiores à densidade do solo sob mata nativa (SCAP = CAPM = HPOS = ROÇA = ENRT = GRAD = HPRE > MATA) (Figura 1A). Pelos dados apresentados na Figura 1B, verifica-se que os teores de carbono orgânico do solo na profundidade de 10-13 cm seguem a seguinte ordem: MATA > ROÇA > SCAP = CAPM = HPOS = ENRT = GRAD > HPRE.

Na profundidade 25-28 cm, o teor de carbono orgânico do solo sob mata nativa foi superior ao do solo sob lavoura cafeeira sob diferentes manejos de plantas invasoras (Figura 1B). Na profundidade 25-28 cm, a densidade do solo segue a seguinte ordem: ENRT = ROÇA = HPOS > SCAP = CAPM = GRAD = HPRE > MATA (Figura 1A), destacando que os manejos de plantas invasoras com a ENRT, ROÇA e HPÓS estão promovendo compactação em subsuperfície.

Apesar do aumento da densidade do solo e da redução nos teores de carbono orgânico, atribuídos à utilização constante do herbicida de pré-emergência, Silveira et al. (1985), Alcântara & Ferreira (2000a) e Alcântara et al. (2009) têm relatado a maior produção da lavoura cafeeira sob esse manejo. Este resultado pode ser atribuído, dentre outros fatores, à ausência de competição por água e nutrientes das plantas invasoras para com os cafeeiros. Além disso, a compactação do solo superficial na linha de tráfego das máquinas e equipamentos pode reduzir o crescimento radicular das culturas em superfície, não interferindo no crescimento das raízes em camadas mais profundas (Voorhees, 1989). Este autor observou que o comprimento radicular total de plantas de milho no perfil do solo foi reduzido pela compactação superficial em sistemas de preparo do solo com arado de aivecas, mas aumentou em áreas com pouco revolvimento do solo.

5.2 Capacidade de suporte de carga do solo na posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos

No Tabela 3 estão apresentados os coeficientes lineares e angulares dos modelos de capacidade de suporte de cargas para o LVdf sob mata nativa e cultivado com cafeeiros submetido a diferentes manejos de plantas invasoras na posição de amostragem linha de tráfego, em três profundidades.

Os valores do intercepto da regressão linearizada (“a”) dos modelos de capacidade de suporte de cargas variaram de 2,57, para o solo sob MATA na profundidade de 0-3 cm, a 2,89, para o solo sob o manejo ENRT na profundidade de 25-28 cm e os coeficientes angulares da regressão linearizada (“b”), entre -1,60, para o solo sob o manejo HPRE, na profundidade 25-28 cm, a -0,71, para o solo sob MATA, na profundidade de 0-3 cm (Tabela 3). Os coeficientes de determinação (R^2) foram todos significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t-Student e variaram de 0,75 a 0,96 (Tabela 3).

TABELA 3 Coeficientes lineares “a” e angulares “b” dos modelos de capacidade de suporte de carga linearizados [$\log \sigma_p = a+b\theta$], para um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e cultivado com cafeeiros submetido a diferentes manejos de plantas invasoras, na posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos em três profundidades.

Manejo de plantas invasoras	a	b	R ²	n
Profundidade 0-3 cm				
Mata nativa	2,57	- 0,71	0,80**	15
Sem capina	2,65	- 1,26	0,96**	15
Capina manual	2,82	- 1,56	0,84**	15
Herbicida de pós-emergência	2,72	- 0,92	0,92**	15
Roçadora	2,86	- 1,19	0,83**	15
Enxada rotativa	2,74	- 1,14	0,79**	14
Grade	2,73	- 0,84	0,77**	15
Herbicida de pré-emergência	2,78	- 1,35	0,86**	15
Profundidade 10-13 cm				
Mata nativa	2,61	- 0,90	0,77**	15
Sem capina	2,77	- 1,26	0,84**	15
Capina manual	2,77	- 1,05	0,86**	15
Herbicida de pós-emergência	2,77	- 1,43	0,87**	15
Roçadora	2,79	- 1,37	0,82**	15
Enxada rotativa	2,82	- 1,24	0,81**	15
Grade	2,71	- 0,92	0,77**	15
Herbicida de pré-emergência	2,83	- 1,49	0,78**	14
Profundidade 25-28 cm				
Mata nativa	2,66	- 1,11	0,90**	14
Sem capina	2,66	- 0,93	0,82**	15
Capina manual	2,76	- 1,40	0,94**	15
Herbicida de pós-emergência	2,86	- 1,51	0,86**	15
Roçadora	2,80	- 1,26	0,75**	15
Enxada rotativa	2,89	- 1,45	0,83**	15
Grade	2,76	- 1,27	0,84**	14
Herbicida de pré-emergência	2,81	- 1,60	0,83**	14

a e b são parâmetros de ajuste dos modelos de capacidade de suporte de carga; R² = coeficiente de determinação; **significativo, pelo teste de F, a 1% de probabilidade; n = número de amostras.

Em alguns estudos (Kondo & Dias Junior, 1999; Oliveira et al., 2003; Silva & Cabeda, 2006) têm sido encontrados valores mínimos do coeficiente “a” de modelos de capacidade de suporte de carga para solos sob mata nativa, quando comparados a solos sob diferentes usos e manejos, corroborando as observações deste estudo (Tabela 3). Ressalta-se, ainda, que em todos estes trabalhos, os menores valores do coeficiente “a” obtidos para os solos sob mata nativa estão associados aos menores valores de densidade do solo inicial, o que indica uma menor resistência intrínseca do solo seco. Peng et al. (2004) observaram maior valor do coeficiente “a” para o solo com maior densidade do solo.

Para verificar as possíveis alterações na CSC do LVdf causadas pelo manejo de plantas invasoras e a utilização de máquinas e equipamentos, os modelos de CSC foram comparados nas diferentes profundidades, dentro de cada uso e condição de manejo (Tabela 4).

Os modelos de CSC obtidos para o LVdf na posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos para o manejo HPRE não foram diferentes para as três profundidades (Tabela 4), enquanto que, para a MATA e para a lavoura cafeeira sob o manejo GRAD, os modelos de CSC não foram diferentes nas profundidades de 0-3 e 10-13 cm (Tabela 4).

Para os manejos ROÇA e ENRT, os modelos de CSC do LVdf não foram diferentes nas profundidades 10-13 e 25-28 cm e, para o manejo CAPM, os modelos de CSC não foram diferentes nas profundidades 0-3 e 25-28 cm (Tabela 4).

Para cada condição em que os modelos de CSC não foram diferentes (Tabela 4), novas equações foram ajustadas, considerando todos os valores de pressão de preconsolidação (σ_p) e umidade volumétrica (θ) e estão apresentadas nas Figuras 2 a 9.

TABELA 4 Teste de significância⁽¹⁾ entre os modelos de capacidade de suporte de carga⁽²⁾ de um Latossolo Vermelho distroférrico em três profundidades sob mata nativa e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras, na posição linha de tráfego.

Usos/manejo de plantas invasoras	Profundidades (cm)	F	F	
			Coefficiente angular, b	Intercepto da regressão, a
Mata nativa	0-3 vs 10-13	H	ns	ns
	0-3 e 10-13 vs 25-28	H	*	ns
Posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos				
Sem capina	0-3 vs 10-13	H	*	**
	0-3 vs 25-28	H	ns	**
	10-13 vs 25-28	H	**	ns
Capina manual	0-3 vs 25-28	H	ns	ns
	0-3 e 25-28 vs 10-13	H	*	**
Herbicida de pós-emergência	0-3 vs 10-13	H	**	**
	0-3 vs 25-28	H	**	ns
	10-13 vs 25-28	H	ns	*
Roçadora	10-13 vs 25-28	H	ns	ns
	0-3 vs 10-13 e 25-28	H	ns	**
Enxada rotativa	10-13 vs 25-28	H	ns	ns
	0-3 vs 10-13 e 25-28	H	**	ns
Grade	0-3 vs 10-13	H	ns	ns
	0-3 e 10-13 vs 25-28	H	ns	**
Herbicida de pré-emergência	0-3 vs 10-13	H	ns	ns
	0-3 e 10-13 vs 25-28	H	ns	ns

⁽¹⁾Snedecor & Cochran (1989); ⁽²⁾ $\sigma_p = 10^{(a + b\theta)}$; NH: não homogêneo; H: homogêneo; **significativo, a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ns: não significativo.

Na Figura 2, observa-se maior CSC para a profundidade de 25-28 cm até a umidade volumétrica de $0,22 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, em relação às profundidades 0-3 e 10-13 cm. Para valores de umidade superiores a $0,22 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, observa-se uma inversão do comportamento quanto à CSC do solo. O maior valor de densidade

inicial e menor teor de carbono orgânico do LVdf na profundidade de 25-28 cm em comparação às demais profundidades (Figuras 1A e 1B) pode estar relacionado à maior CSC nas umidades menores que $0,22 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

Deve-se ressaltar que a pressão de preconsolidação não depende somente de atributos como a densidade do solo e o conteúdo de carbono orgânico (Lebert & Horn, 1991). No entanto, existe um consenso na literatura de que solos com maior conteúdo de carbono orgânico tenham sua densidade reduzida, inclusive no ensaio de compressão uniaxial (Etana et al., 1997; Arvidsson, 1998; Peng et al., 2004; Zhang et al., 2005) e a magnitude das respostas à compactação é menor em solos argilosos com alto conteúdo de carbono orgânico, indicando que a matéria orgânica do solo reduz os efeitos adversos da compactação (Etana et al., 1997).

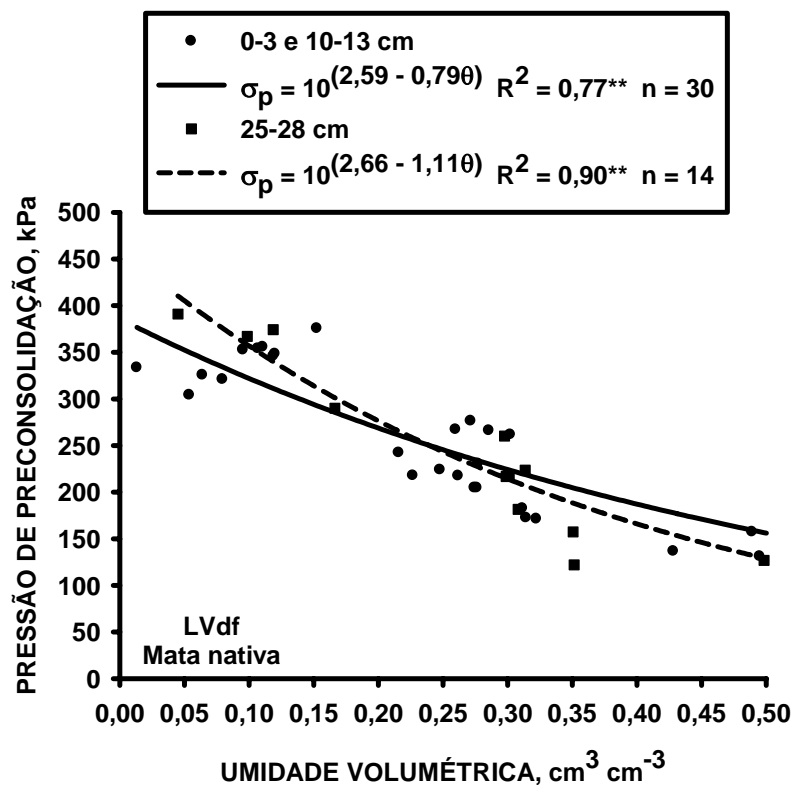


FIGURA 2 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa, em três profundidades.

Pelo gráfico da Figura 3, observa-se os modelos de CSC para o LVdf sob o manejo de plantas invasoras SCAP. Na profundidade de 0-3 cm verificou-se menor CSC do LVdf ao longo de todo o intervalo de umidade em relação às demais profundidades, o que pode estar relacionado ao maior teor de carbono nesta profundidade (Figura 1B). Na profundidade de 10-13 cm, a CSC do LVdf foi superior até a umidade volumétrica de $0,33 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. A partir da umidade de $0,33 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, a CSC para a profundidade 25-28 cm foi superior à CSC determinada para a profundidade de 10-13 cm (Figura 3).

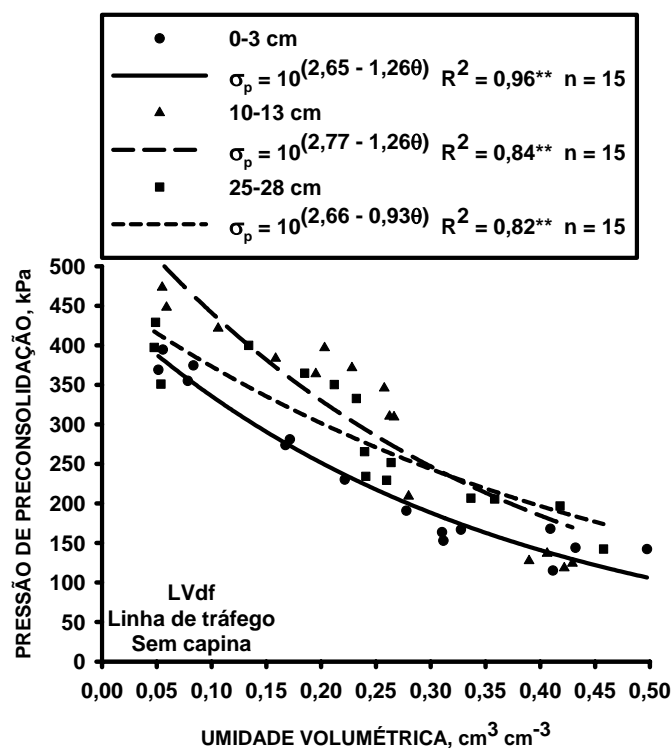


FIGURA 3 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico em três profundidades, cultivado com cafeeiros sob o manejo sem capina na posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos.

O comportamento do LVdf quanto à CSC, observado na profundidade 0–3 cm para o solo submetido ao manejo SCAP, pode estar associado ao menor valor de densidade inicial e maior conteúdo de carbono. Solos com baixa densidade inicial e elevados teores de carbono orgânico do solo são mais compressíveis e, conseqüentemente, menor CSC (Etana et al., 1997; Arvidsson, 1998; Kondo & Dias Junior, 1999; Silva et al., 2002; Peng et al., 2004; Zhang et al., 2005; Silva & Cabeda, 2006).

O maior valor de densidade do solo na profundidade 10-13 cm, em relação às demais profundidades (Figura 1A), contribuiu para a maior CSC do LVdf em umidades volumétricas inferiores a $0,33 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (Figura 3).

Na Figura 4 estão apresentados os modelos de CSC para o LVdf sob o manejo de plantas invasoras CAPM, nas três profundidades. Observa-se menor CSC para o LVdf nas profundidades 0-3 e 25-28 cm, ao longo de todo o intervalo de umidade, quando comparado ao solo na profundidade de 10-13 cm (Figura 4). O comportamento quanto à CSC observado para o LVdf sob o manejo CAPM se deve ao maior valor de densidade do solo observado na profundidade 10-13 cm (Figura 1A), sugerindo que o efeito do tráfego de máquinas na lavoura cafeeira sob o manejo CAPM concentra-se na profundidade 10-13 cm, promovendo aumento nos valores de densidade do solo e CSC (Figura 4).

A ação da enxada no solo promove a desagregação da camada superficial, expondo o solo ao impacto direto das gotas de chuva e ao contato direto dos rodados das máquinas com o solo. A desagregação da camada superior pode estar relacionada à menor CSC do LVdf na profundidade de 0-3 cm.

Outro aspecto que vale ressaltar é que, após a capina manual, o solo fica desprotegido e ocorre o contato direto dos rodados dos equipamentos com o solo, o que pode ter promovido aumentos da CSC na profundidade de 10-13 cm. Zhang et al. (2006) observaram que um trator de pequeno porte semelhante ao utilizado neste estudo proporciona maiores incrementos na resistência mecânica do solo até a profundidade de 12 cm.

Além disso, a utilização do manejo capina manual favorece a perda de água e solo por erosão (Faria et al., 1998; Carvalho et al., 2007), agravada pela formação do encrostamento superficial (Faria et al., 1998). Em lavouras cafeeiras recém implantadas e aos 14 meses de idade sob este sistema de cultivo, Carvalho et al. (2007) verificaram, ainda, perdas de nutrientes e carbono orgânico nos sedimentos de erosão.

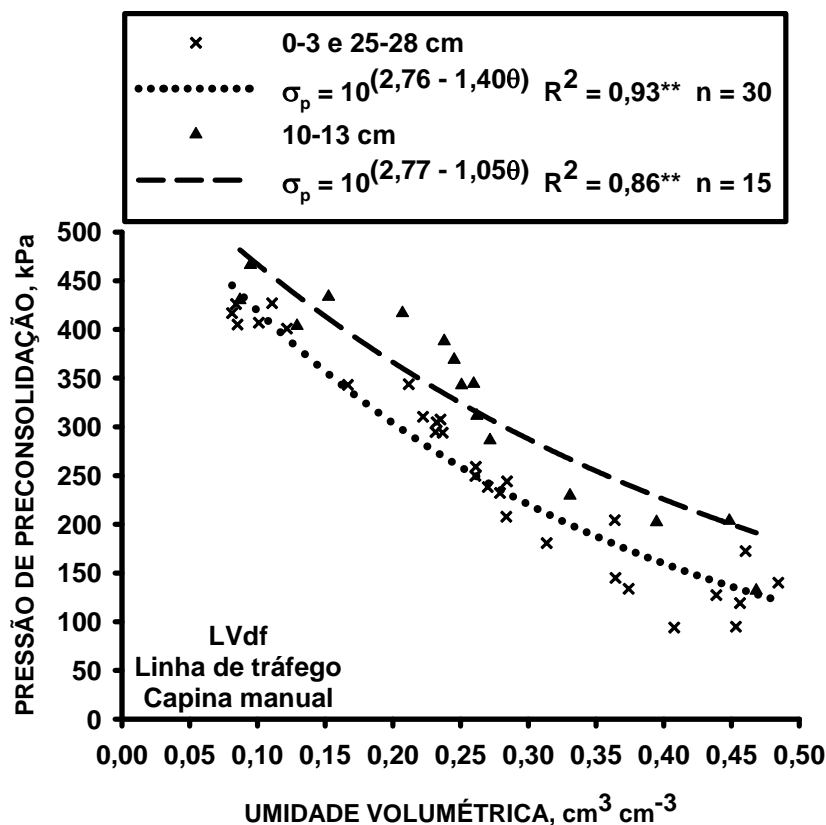


FIGURA 4 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, em três profundidades, cultivado com cafeeiros sob o manejo capina manual na posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos.

No gráfico da Figura 5, são apresentados os modelos de CSC do LVdf sob o manejo com HPOS. O LVdf possui menor CSC na profundidade de 0-3 cm sob o sistema de manejo HPOS até a umidade volumétrica $0,18 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Para umidades entre $0,18 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e $0,24 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, o LVdf na profundidade de 0-3 cm apresenta menor CSC em relação à profundidade de 25–28 cm (Figura 5). Para umidades maiores que $0,24 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, o LVdf na profundidade de 0-3 cm apresenta maior CSC em relação às profundidades 10-13 e 25-28 cm.

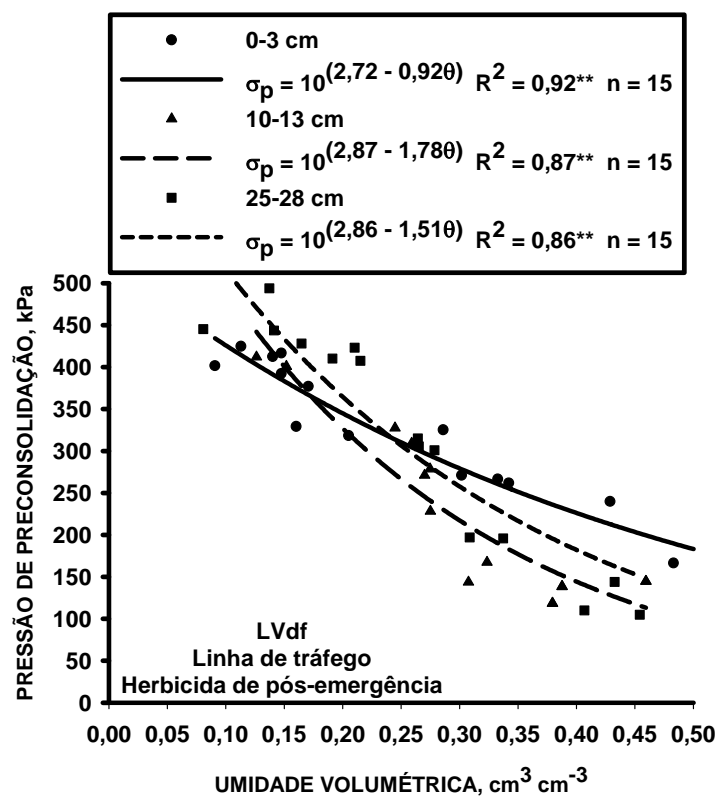


FIGURA 5 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, em três profundidades, cultivado com cafeeiros sob o manejo herbicida de pós-emergência na posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos.

A CSC do LVdf na profundidade de 10-13 cm submetida ao manejo HPOS foi inferior à CSC na profundidade de 25-28 cm ao longo de todo o intervalo de umidade (Figura 5). O comportamento quanto à CSC para o LVdf submetido ao manejo de plantas invasoras com HPOS não está relacionado aos valores de densidade do solo e carbono orgânico do solo (Figuras 1A e 1B). Destaca-se que, neste sistema de manejo, a deposição de cobertura morta com a formação da bioporosidade vertical proporcionada pela morte do sistema radicular das plantas invasoras no solo pode conferir este comportamento

errático quanto à CSC, não sendo influenciada nem pela densidade do solo nem pelo conteúdo de carbono orgânico do solo. Esse comportamento pode estar associado aos efeitos da heterogeneidade estrutural, a qual ocorre periodicamente em amostras de solo com estrutura indeformada devido à presença de bioporos e, inclusive, raízes (Dexter, 1988 *apud* Peng et al., 2004). Além disso, destaca-se que solos com um sistema poroso vertical são mais resistentes do que aqueles com um sistema poroso aleatorizado extremamente horizontal, porque esses poros verticais (bioporosidade) são contrários à tensão máxima principal (Bohne & Hartge, 1982 *apud* Horn & Lebert, 1994). Assim, solos mantidos sem o revolvimento constante com um sistema poroso vertical abundante, como ocorre no manejo de plantas invasoras utilizando HPOS, tendem a apresentar um comportamento errático quanto à CSC.

Na Figura 6, observa-se que o manejo de plantas invasoras com a ROÇA proporciona maior CSC ao LVdf na profundidade de 0-3 cm ao longo de todo o intervalo de umidade. O manejo de plantas invasoras com a ROÇA exige o maior número de operações anuais para o controle satisfatório das plantas invasoras (Tabela 2). Além disso, a largura de corte insuficiente do equipamento (1,32 m) faz com que, em uma única passada, não cubra toda a entrelinha (2,4 m), aumentando a intensidade de tráfego. Outro aspecto que vale ressaltar é que o controle de plantas invasoras em lavouras cafeeiras ocorre principalmente entre os meses de outubro a março, o que coincide com a época chuvosa no Sul de Minas. Assim sendo, as máquinas trafegam principalmente na estação chuvosa, quando o solo tem menor CSC, podendo ocasionar compactação adicional (Silva et al., 2006).

Vale ressaltar, os aspectos positivos da utilização da roçadora no controle das plantas invasoras, dentre os quais se destacam melhores condições para que a água infiltre nas áreas sob este manejo (Faria et al., 1998; Carvalho et al., 2007), reduzindo as perdas de água e solo (Carvalho et al., 2007).

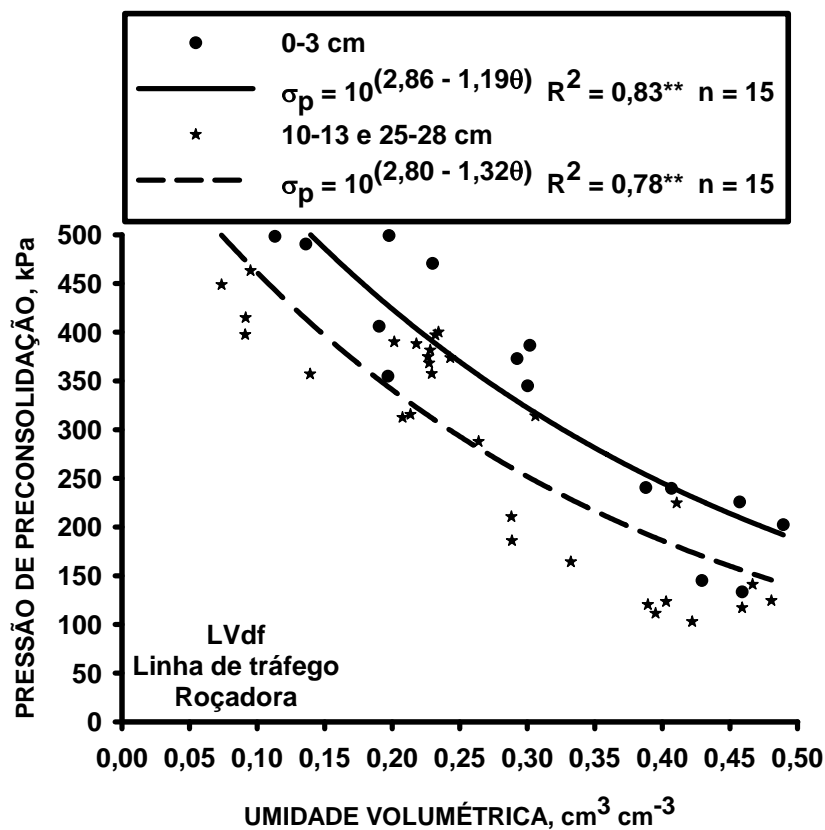


FIGURA 6 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, em três profundidades, cultivado com cafeeiros sob o manejo roçadora na posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos.

Pelo gráfico da Figura 7, observa-se menor CSC para o LVdf sob o manejo com ENRT na profundidade 0-,3 cm ao longo de todo o intervalo de umidade. Tal comportamento está associado aos menores valores de densidade do solo e maiores de carbono orgânico do solo na profundidade 0-3 cm (Figuras 1A e 1B), além da ação do equipamento que age desestruturando o solo na camada superficial. Zhang et al. (2006) observaram que o preparo do solo com o arado pode aliviar a compactação do solo na camada superficial.

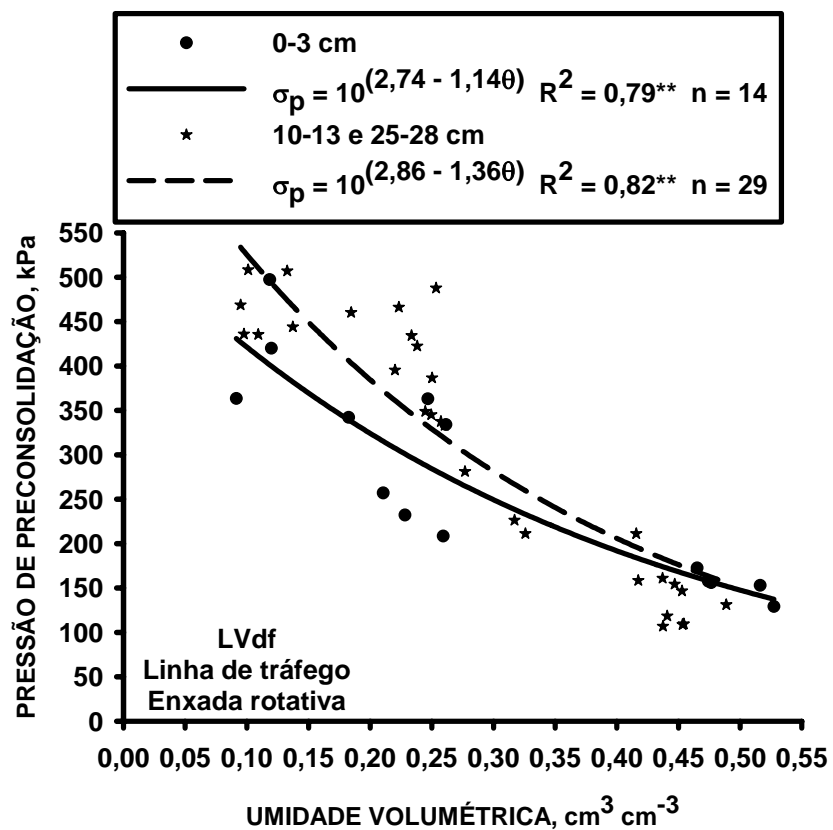


FIGURA 7 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, em três profundidades, cultivado com cafeeiros sob o manejo enxada rotativa na posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos.

O controle das plantas invasoras por meio do uso da grade (GRAD) promove um aumento da CSC do LVdf nas profundidades 0-3 e 10-13 cm em relação à profundidade 25-28 cm (Figura 8), além de expor o solo aos agentes erosivos pela ausência de cobertura vegetal e desestruturação da camada superficial.

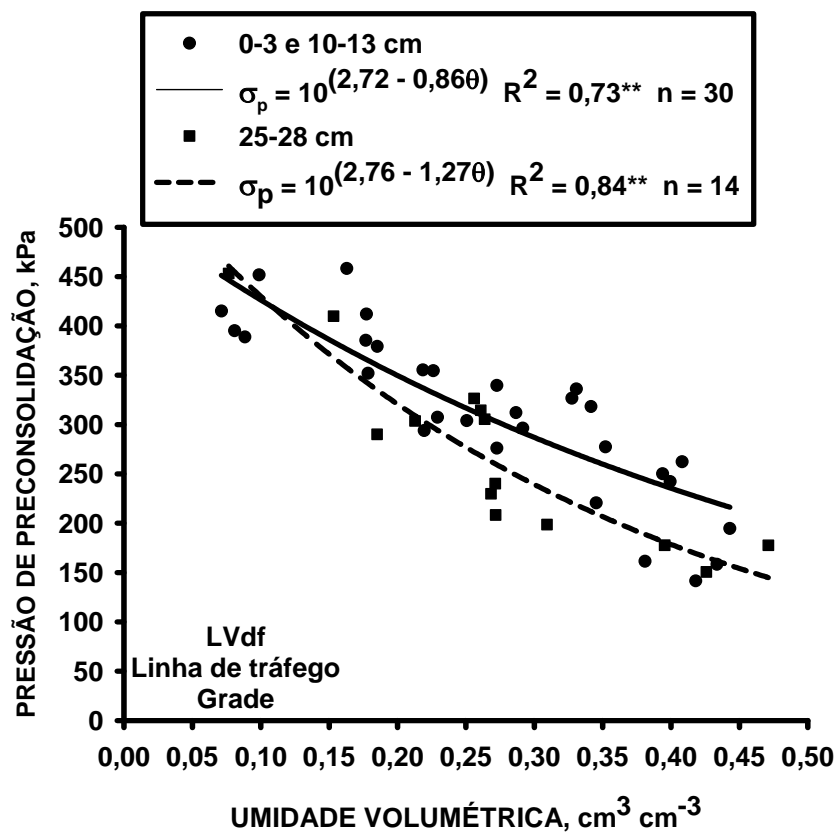


FIGURA 8 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, em três profundidades, cultivado com cafeeiros sob o manejo grade na posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos.

No gráfico da Figura 9, observa-se que o manejo de plantas invasoras com HPRE promove a homogeneização da CSC do LVdf na linha de tráfego das máquinas e equipamentos, indicando que a ausência de cobertura vegetal promovida por este manejo de plantas invasoras e o contato direto dos rodados das máquinas com o solo podem estar induzindo tensões até a profundidade de 25-28 cm, homogeneizando a CSC.

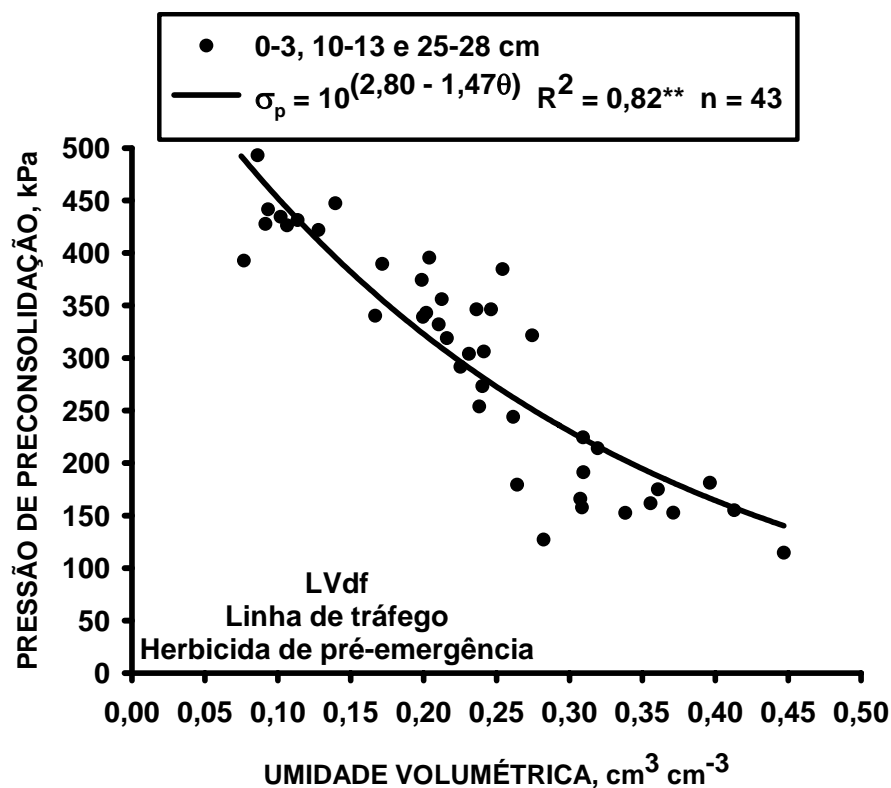


FIGURA 9 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, em três profundidades, cultivado com cafeeiros sob o manejo herbicida de pré-emergência na posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos.

Quando o manejo de plantas invasoras foi realizado com a CAPM e HPRE; HPOS e GRAD, os modelos de CSC foram iguais na profundidade de 0-3 cm (Tabela 5). Assim sendo, uma nova equação foi ajustada a cada conjunto de dados, considerando todos os valores de pressão de preconsolidação e umidade (Figura 10). Observa-se que, de maneira geral, a CSC do LVdf sob os diferentes manejos de plantas invasoras na profundidade de 0-3 cm segue a seguinte ordem: ROÇA > HPOS = GRAD > ENRT > CAPM = HPRE > MATA > SCAP (Figura 10).

TABELA 5 Teste de significância⁽¹⁾ entre os modelos de capacidade de suporte de carga⁽²⁾ para um Latossolo Vermelho distroférico, na profundidade de 0-3 cm, sob mata nativa e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras.

Usos/manejo de plantas invasoras	F	F	
		Coefficiente angular, b	Intercepto da regressão, a
Profundidade 0-3 cm			
Capina manual VS herbicida de pré-emergência	H	ns	ns
Capina manual e herbicida de pré-emergência VS enxada rotativa	H	*	ns
Capina manual e herbicida de pré-emergência VS roçadora	H	**	ns
Capina manual e herbicida de pré-emergência VS mata nativa	H	**	ns
Capina manual e herbicida de pré-emergência VS sem capina	H	*	*
Herbicida de pós-emergência VS grade	H	ns	ns
Herbicida de pós-emergência e grade VS enxada rotativa	H	ns	**
Herbicida de pós-emergência e grade VS roçadora	H	*	ns
Herbicida de pós-emergência e grade VS capina manual e herbicida de pré-emergência	H	**	**
Herbicida de pós-emergência e grade VS mata nativa	H	*	**
Herbicida de pós-emergência e grade VS sem capina	H	ns	**
Roçadora VS enxada rotativa	H	**	**
Roçadora VS sem capina	H	ns	**
Mata nativa VS sem capina	H	**	ns
Mata nativa VS enxada rotativa	H	*	ns
Mata nativa VS roçadora	H	**	**

⁽¹⁾Snedecor & Cochran (1989); ⁽²⁾ $\sigma_p = 10^{(a + b\theta)}$; NH: não homogêneo; H: homogêneo; **significativo, a 1% de probabilidade; *significativo, a 5% de probabilidade; ns: não significativo.

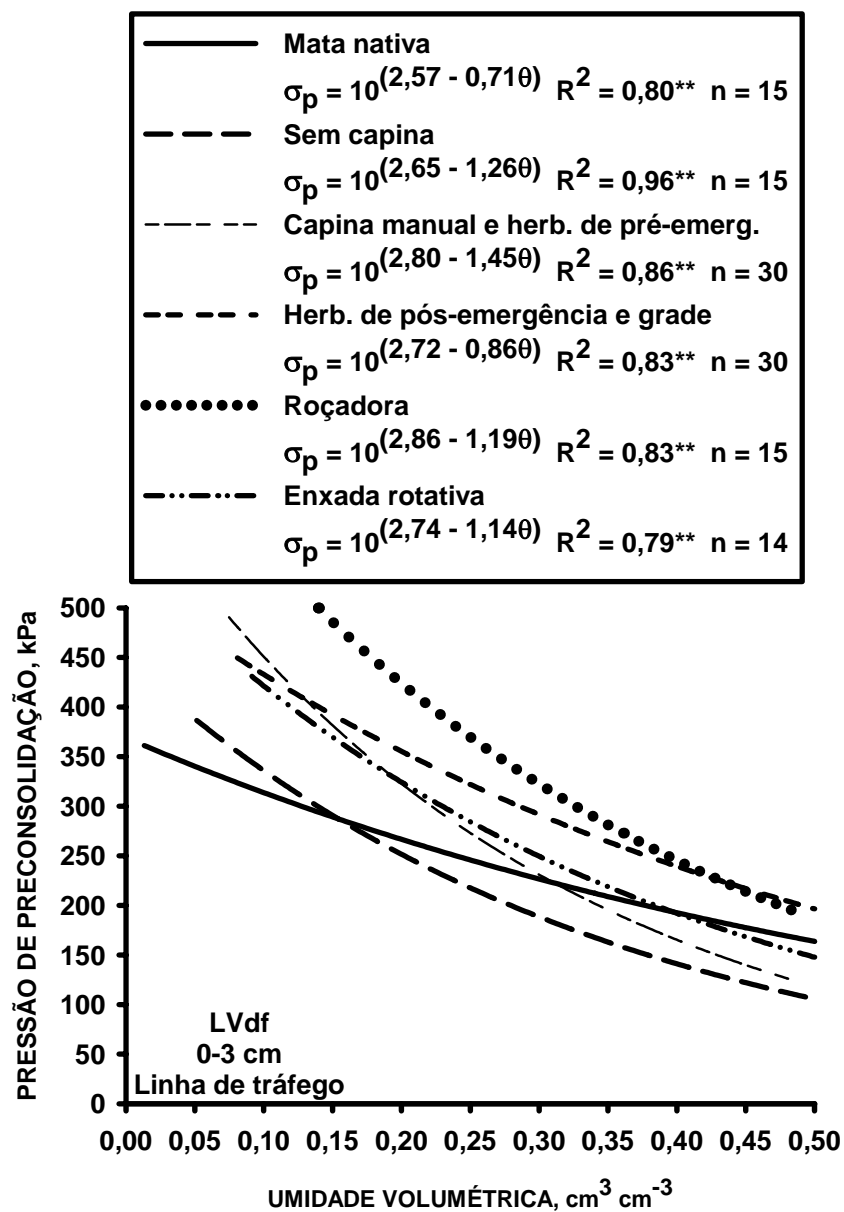


FIGURA 10 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e cultivado com cafeeiros, submetido a diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras na posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos, na profundidade de 0–3 cm.

O manejo de plantas invasoras ROÇA proporciona maior CSC ao LVdf na profundidade de 0-3 cm (Figura 10), o que pode estar relacionado à utilização constante da roçadora ao longo dos anos, a qual promove aumento do grau de compactação em virtude do número de operações necessárias para o controle satisfatório das plantas invasoras ao longo do ano (Silveira & Kurachi, 1984; Alcântara & Ferreira, 2000b; Silva et al., 2006), principalmente na estação chuvosa (outubro a abril), quando o solo apresenta maior umidade e, conseqüentemente, menor CSC (Silva et al., 2006).

Zhang et al. (2006) observaram que as primeiras três passadas de um trator promovem os maiores incrementos na resistência mecânica do solo até a profundidade de 12 cm. Em sistemas conservacionistas, os quais não revolvem o solo e contribuem para o aporte de matéria orgânica, ocorre um aumento da CSC, em virtude da maior estabilidade estrutural (Silva & Cabeda, 2006; Silva et al., 2002).

De maneira geral, os solos sob MATA e SCAP apresentam a menor CSC na profundidade de 0-3 cm em relação aos demais sistemas de manejo de plantas invasoras utilizados no solo sob lavoura cafeeira (Figura 10). Esse comportamento pode estar associado aos valores de densidade do solo inicial e teores de carbono orgânico (Figuras 1A e 1B). Por outro lado, o manejo ROÇA proporciona ao LVdf a maior CSC na profundidade de 0-3 cm (Figura 10).

Os manejos CAPM e HPRE; ENRT conferem um comportamento intermediário quanto a CSC ao LVdf na profundidade de 0-3 cm entre os manejos ROÇA e SCAP. Nesta profundidade, os resultados obtidos quanto à CSC foram semelhantes aos obtidos por Kurachi & Silverira (1984) a partir de perfis médios de resistência mecânica do perfil do solo sob diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras. Os mesmos autores observaram que a roçadora foi o implemento que provocou maior grau de compactação, seguido pelo aplicador de herbicidas, pela grade e pela enxada rotativa.

Nos manejos de plantas invasoras SCAP e HPOS e ROÇA e HPRE; CAPM e ENRT e GRAD, os modelos de CSC foram iguais na profundidade de 10-13 cm (Tabela 6). Assim sendo, uma nova equação foi ajustada considerando todos os valores de pressão de preconsolidação e umidade (Figura 11). Na profundidade de 10-13 cm, a CSC do LVdf segue a seguinte ordem: CAPM = ENRT = GRAD > SCAP = HPOS = ROÇA = HPRE > MATA (Figura 11).

Em geral, o solo sob MATA apresenta a menor CSC na profundidade de 10-13 cm em relação a todos os sistemas de manejo de plantas invasoras utilizados no solo sob lavoura cafeeira (Figura 11). Esse comportamento está associado ao menor valor de densidade do solo e ao maior conteúdo de carbono orgânico do solo observado no manejo MATA (Figuras 1A e 1B). A ausência de ação antrópica no solo sob mata nativa proporciona o maior acúmulo de carbono orgânico e menores valores de densidade do solo, os quais contribuem para menores valores de pressão de preconsolidação e, conseqüentemente, menor CSC ao longo de todo intervalo de umidade.

Os manejos de plantas invasoras CAPM, ENRT e GRAD proporcionam maior CSC ao LVdf ao longo de todo o intervalo de umidade (Figura 11). A desestruturação da camada superficial proporcionada por esses manejos favorecem a distribuição das tensões máximas de 220 kPa até as profundidade 16-21 cm (Capítulo 2), promovendo aumentos da CSC do LVdf até a profundidade de 10-13 cm, sendo esses efeitos evidenciados pelo aumento da CSC em relação ao solo sob MATA (Figura 11).

Os manejos SCAP e HPOS e ROÇA e HPRE conferem comportamento intermediário quanto a CSC ao LVdf na profundidade de 10-13 cm, quando comparado aos manejos CAPM e ENRT e GRAD e MATA (Figura 11). A ausência de revolvimento do solo nos manejos SCAP e HPOS e ROÇA e HPRE favorecem uma CSC intermediária ao LVdf na profundidade de 10-13 cm, pois, sob manejos que não revolvem os solos, as tensões máximas são restritas às

camadas mais superficiais e a bioporosidade formada nos solos são contrárias à tensão normal principal (Bohne & Hartge, 1982 *apud* Horn & Lebert, 1994).

TABELA 6 Teste de significância⁽¹⁾ entre os modelos de capacidade de suporte de carga⁽²⁾ para um Latossolo Vermelho distroférico, na profundidade de 10–13 cm, sob mata nativa e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras.

Usos/manejo de plantas invasoras	F	F	
		Coefficiente angular, b	Intercepto da regressão, a
Profundidade 10-13 cm			
Roçadora VS herbicida de pré-emergência	H	ns	ns
Roçadora e herbicida de pré-emergência VS sem capina	H	ns	ns
Roçadora e herbicida de pré-emergência e sem capina VS herbicida de pós-emergência	H	ns	ns
Enxada rotativa VS capina manual	H	ns	ns
Enxada rotativa e capina manual VS grade	H	ns	ns
Enxada rotativa e capina manual e grade VS mata nativa	H	**	**
Roçadora e herbicida de pré-emergência e sem capina e herbicida de pós-emergência VS mata nativa	H	**	ns
Roçadora e herbicida de pré-emergência e sem capina e herbicida de pós-emergência VS enxada rotativa e capina manual e grade	H	*	**

⁽¹⁾Snedecor & Cochran (1989); ⁽²⁾ $\sigma_p = 10^{(a + b\theta)}$; NH: não homogêneo; H: homogêneo; **significativo, a 1% de probabilidade; *significativo, a 5% de probabilidade; ns: não significativo.

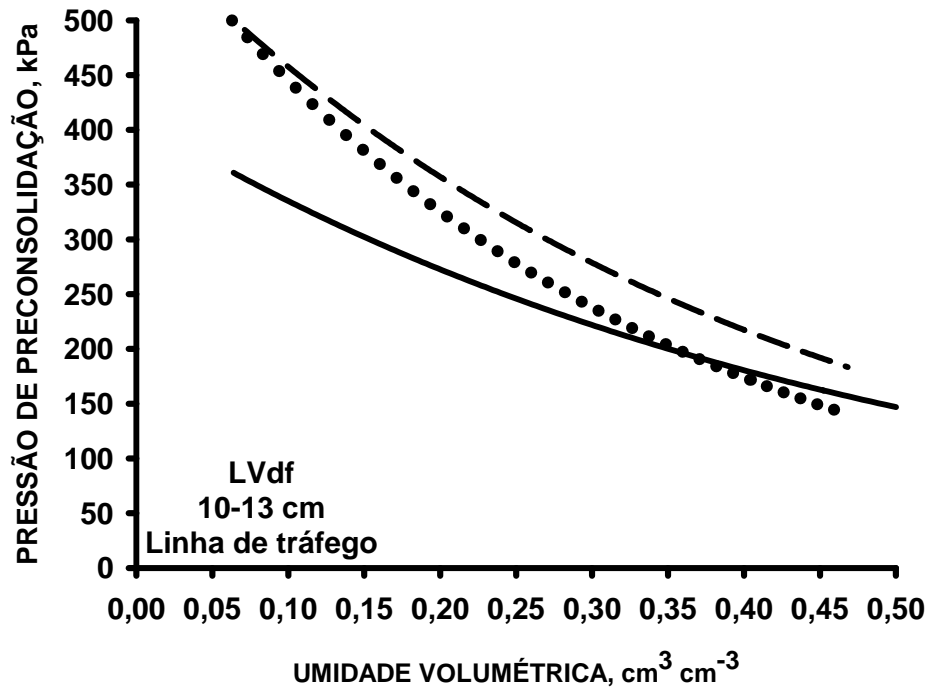
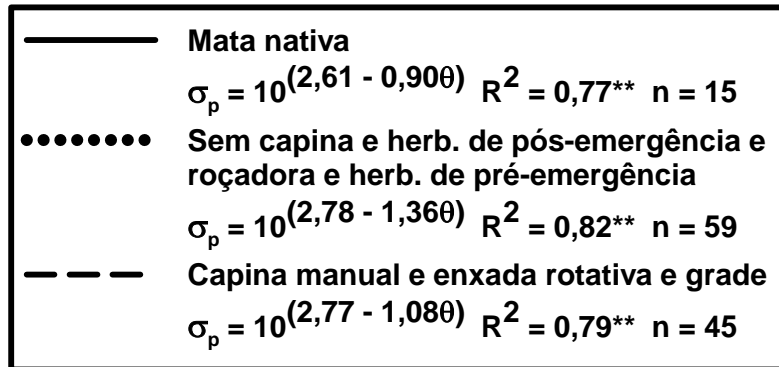


FIGURA 11 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e cultivado com cafeeiros submetido a diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras na posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos, na profundidade de 10–13 cm.

Na profundidade de 25-28 cm, quando o manejo de plantas invasoras foi ROÇA e HPOS e ENRT; CAPM e HPRE e GRAD, os modelos de CSC foram iguais na profundidade de 25-28 cm (Tabela 7). Assim sendo, uma nova equação foi ajustada para cada conjunto de dados, considerando todos os valores de pressão de preconsolidação e umidade (Figura 12).

Na profundidade de 25-28 cm, a CSC do LVdf segue a ordem: HPOS = ROÇA = ENRT > CAPM = HPRE = GRAD > SCAP > MATA (Figura 12).

Em geral, o solo sob MATA apresenta a menor CSC em relação a todos os sistemas de manejo de plantas invasoras utilizados no solo sob lavoura cafeeira (Figura 12).

O mesmo comportamento quanto à CSC do LVdf sob mata nativa, observado na profundidade 25-28 cm, foi observado nas profundidades 0-3 e 10-13 cm, quando comparado ao solo cultivado com cafeeiros submetidos a diferentes manejos de plantas invasoras. A menor CSC do LVdf sob MATA pode estar associada à ausência de ação antrópica, menor valor de densidade do solo e maior conteúdo de carbono orgânico. Todos esses fatores contribuem para menores valores de pressão de preconsolidação e, conseqüentemente, redução da CSC (Figura 12).

Os sistemas de manejo de plantas invasoras HPOS e ROÇA e ENRT proporcionam, em geral, maior CSC ao LVdf, indicando que o efeito do tráfego de máquinas e dos manejos estão induzindo a compactação do solo em subsuperfície. Kurachi & Silveira (1984) sugerem que os sistemas de manejo que proporcionam mobilização do solo, o aumento da compactação existe desde a superfície, ao passo que, quando não há mobilização, esse aumento é mais acentuado a partir da profundidade de trabalho. Apesar dessa afirmação, os dados apresentados permitem concluir que os manejos aplicador de herbicidas e roçadoras que não revolvem o solo e a enxada rotativa proporcionaram aumentos na resistência mecânica à penetração desde a superfície nas umidades

de $15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e $20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, quando comparados ao manejo capina manual. Pelos dados da Figura 12, observa-se que, mesmo com a ausência de revolvimento do solo devido ao manejo de plantas invasoras ser realizado principalmente na estação chuvosa, a compactação está sendo transmitida até a profundidade de 25-28 cm (Figura 12).

TABELA 7 Teste de significância⁽¹⁾ entre os modelos de capacidade de suporte de carga⁽²⁾ para um Latossolo Vermelho distroférrico na profundidade de 25–28 cm sob mata nativa e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras.

Usos/manejo de plantas invasoras	F	F	
		Coefficiente angular, b	Intercepto da regressão, a
Profundidade 25–28 cm			
Roçadora VS herbicida de pós-emergência	H	ns	ns
Roçadora e herbicida de pós-emergência VS enxada rotativa	H	ns	ns
Capina manual VS herbicida de pré-emergência	H	ns	ns
Capina manual e herbicida de pré-emergência VS grade	H	ns	ns
Capina manual e herbicida de pré-emergência e grade VS sem capina	NH	**	**
Capina manual e herbicida de pré-emergência e grade VS mata nativa	NH	**	ns
Capina manual e herbicida de pré-emergência e grade VS roçadora e herbicida de pós-emergência e enxada rotativa	NH	**	**
Roçadora e herbicida de pós-emergência e enxada rotativa VS sem capina	H	**	*
Roçadora e herbicida de pós-emergência e enxada rotativa VS mata nativa	H	**	*
Mata nativa VS sem capina	H	ns	**

⁽¹⁾Snedecor & Cochran (1989); ⁽²⁾ $\sigma_p = 10^{(a + b0)}$; NH: não homogêneo; H: homogêneo; **significativo, a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ns: não significativo.

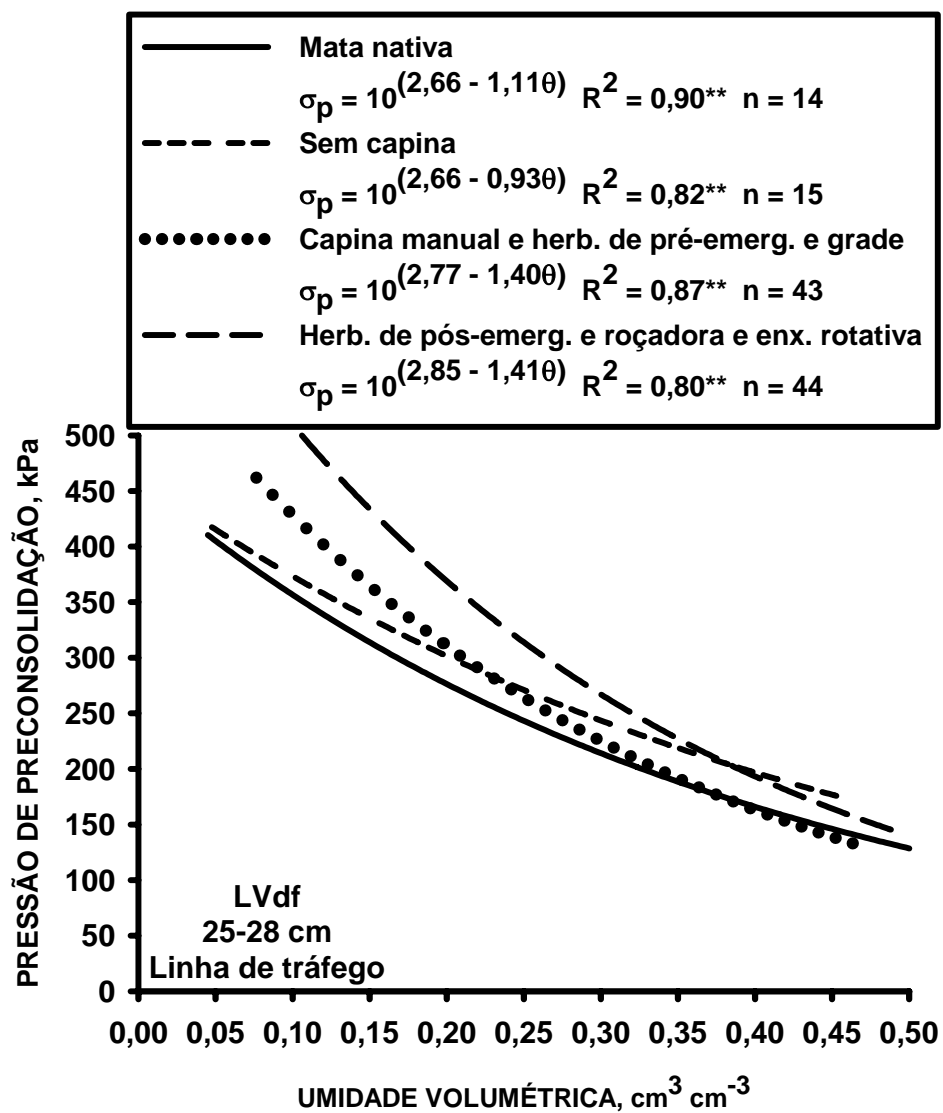


FIGURA 12 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e cultivado com cafeeiros submetidos a diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras na posição de amostragem linha de tráfego das máquinas e equipamentos, na profundidade de 25–28 cm.

6 CONCLUSÕES

O uso do solo e o tráfego das máquinas e equipamentos na lavoura cafeeira promovem aumentos nos valores de densidade do solo e de capacidade de suporte de carga e redução nos valores de carbono orgânico, nas três profundidades em relação ao solo sob mata nativa.

O manejo de plantas invasoras com a roçadora promove maior acúmulo de carbono orgânico e maior capacidade de suporte de cargas, na profundidade de 0-3 cm.

Os diferentes manejos e o tráfego de máquinas na lavoura cafeeira proporcionaram valores iguais de densidade do solo na profundidade 10-13 cm.

O tráfego de máquinas nos manejos de plantas invasoras roçadora, herbicida de pós-emergência e enxada rotativa e promovem compactação do solo na profundidade de 25-28 cm.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os efeitos nocivos da compactação do solo e da competição das plantas invasoras com os cafeeiros já foram demonstrados por alguns pesquisadores. Porém, o manejo integrado racional das plantas invasoras deve considerar o sistema solo-água-planta, o que, em muitos trabalhos, tem sido negligenciado. Assim, os conhecimentos de como os manejos de plantas invasoras em lavoura cafeeira influenciam a capacidade de suporte de carga dos solos, bem como o os níveis de pressões aplicados pelas máquinas e equipamentos e as tensões distribuídas ao longo do perfil tornam-se essenciais para a adequação do manejo em lavouras cafeeiras. Desse modo, as pressões aplicadas ao solo pelas máquinas e equipamentos devem ser inferiores à capacidade de suporte de carga

do solo expressa pela pressão de preconsolidação, para evitar que a estrutura do solo seja alterada e a compactação adicional ocorra. Em alguns países europeus, como na Alemanha, existem leis de proteção contra os efeitos detrimenais da compactação do solo e meios para as melhores práticas de manejo são propostos (Lebert et al., 2007), tais como: i) redução da tensão aplicada aos solos; ii) melhoria na capacidade de suporte de carga por meio de preparos conservacionistas e mínimo; iii) avançar no desenvolvimento de soluções técnicas (baixa pressão de inflação, tamanho dos pneus, etc.) e iv) adaptação dos métodos de cultivo. Assim sendo, é de extrema importância a determinação da umidade crítica para o tráfego de cada equipamento na lavoura cafeeira.

Considerando os dados existentes na literatura até o presente momento e os dados apresentados neste trabalho, sugere-se que o manejo de plantas invasoras em lavoura cafeeira seja executado de maneira sazonal e localizada. As linhas de plantio da cultura devem ser mantidas livres das plantas invasoras com a utilização de herbicida de pré-emergência ao longo de todo ano para evitar a concorrência dessas plantas por água e nutrientes com a cultura. Na linha da cultura, apesar de se observar a formação do encrostamento superficial, esse efeito é menos expressivo do que no centro das entrelinhas. Além disso, o pequeno grau de compactação proporcionado pelo encrostamento superficial pode aumentar a retenção de água e favorecer o crescimento do sistema radicular da cultura em profundidade. Por outro lado, nas entrelinhas, o manejo pode ser realizado na estação seca utilizando herbicida de pré-emergência, herbicida de pós-emergência, grade e enxada rotativa, os quais proporcionam ausência de plantas invasoras, cobertura morta, redução na perda de água do solo por capilaridade pela quebra da continuidade dos poros, respectivamente. Já na estação chuvosa, devem-se preferir os manejos que mantêm uma cobertura vegetal, proporcionando a redução das perdas de água e solo por erosão.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAKUKKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W. C. T.; TIJINK, F. G. J.; LINDEN, J. P. van der; PIRES, S.; SOMMER, C.; SPOOR, G. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review: part I - machine/soil interactions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, n. 1/2, p. 145-160, Oct. 2003.

ALCÂNTARA, E. N. de. **Efeito de diferentes métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica L.*) sobre a qualidade de um latossolo roxo distrófico**. 1997. 133 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeito de diferentes métodos de controle de plantas daninhas sobre a produção de cafeeiros instalados em Latossolo Roxo distrófico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 1, p. 54-61, jan. 2000a.

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeito de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica L.*) sobre a qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 711-721, out./dez. 2000b.

ALCÂNTARA, E. N.; SILVA, R. A.; REIS, P. R.; MESQUITA, D. N. Influência do manejo de mato sobre o desenvolvimento e produtividade de cafeeiros em formação no sistema convencional. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2009. 1 CD-ROM.

ARAÚJO JUNIOR, C. F.; DIAS JUNIOR, M. S. de; GUIMARÃES, P. T. G.; PIRES, B. S. Resistência à compactação de um Latossolo cultivado com cafeeiro, sob diferentes sistemas de manejos de plantas invasoras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 25-32, jan./fev. 2008.

ARVIDSSON, J. Influence of soil texture and organic matter on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory compression experiments. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 49, n. 1/2, p. 159-170, Nov. 1998.

ARVIDSSON, J.; KELLER, T. Soil stress as affected by wheel load and tyre inflation pressure. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 96, n. 1/2, p. 284-291, Oct. 2007.

BASTGEN, H. M.; DISERENS, E. q value for calculation of pressure propagation in arable soils taking topsoil stability into account. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, n. 1, p. 138-143, Jan. 2009.

BERLI, M.; KIRBY, J. M.; SPRINGMAN, S. M.; SCHULIN, R. Modelling compaction of agricultural subsoils by tracked heavy construction machinery under various moisture conditions in Switzerland. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, n. 1/2, p. 57-66, Oct. 2003.

BOWLES, J. E. **Engineering properties of soils and their measurements**. 3. ed. Auckland: McGraw-Hill, 1986, 218 p.

CARVALHO FILHO, A.; SILVA, R. P. da; FERNANDES, A. L. T. **Compactação do solo em cafeicultura irrigada**. Uberaba: Universidade de Uberaba, 2004. 44 p. (Boletim Técnico, n. 3).

CARVALHO, R.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; SOUZA, F. S. de. Erosão hídrica em Latossolo Vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1679-1687, nov./dez. 2007.

CORRÊA, S.; REETZ, E. R.; SANTOS, C.; SILVEIRA, D. da; CARVALHO, C. de; BELING, R. R. Café do amanhã. In: BELING, R. R. (Ed.). **Anuário brasileiro do café**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2009. p. 20-91.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. part I, p. 545-567.

DIAS JUNIOR, M. de S. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic**. 1994. 114 p. Thesis (Ph.D. in Crop and Soil Science) - Michigan State University, East Lansing.

DIAS JUNIOR, M. de S.; FONSECA, S. da; ARAUJO JUNIOR, C. F.; SILVA, A. R. Soil compaction due to forest harvest operations. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 257-264, fev. 2007.

DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F. J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, Lansing, v. 8, n. 2, p. 139-151, Nov. 1995.

DIAS JUNIOR, M. de S.; SILVA, S. R.; SANTOS, N. S. dos; ARAUJO JUNIOR, C. F. Assessment of the soil compaction of two ultisols caused by logging operations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 2245-2253, nov./dez. 2008.

DISERENS, E. **TASC: tyres/tracks and soil compaction: a practical tool to prevent soil compaction damage**, MS Excel 2000. Zurich: Agroscope FAT Tänikon, 2005. 68 p. Manual.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises do solo**. 2. ed. Brasília: Produção de informação, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

ETANA, A.; COMIA, R. A.; HÄKANSSON, I. Effects of uniaxial stress on the physical properties of four Swedish soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 44, n. 1/2, p. 13–21, Dec. 1997.

FARIA, J. C.; SHAEFER, C. E. R.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M. Effects of weed control on physical and micropedological properties of brazilian ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 3, p. 731-741, jul./set. 1998.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCAR, 2000. p. 255-258.

FIDALKI, J.; TORMENA, C. A.; SCAPIM, C. A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho cultivado com citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 9-19, jan./fev. 2007.

GROHMANN, F.; RAIJ, B. van. Dispersão mecânica e pré-tratamento para análise granulométrica de Latossolos argilosos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 1, n. 1, p. 52-53, jan./abr. 1977.

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. v. 4, p. 201–228.

HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactibility and compressibility. In: SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. van. (Ed.). **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 45-69.

KELLER, T. A model for the prediction of the contact area and the distribution of vertical stress below agricultural tyres from readily available tyre parameters. **Biosystems Engineering**, London, v. 92, n. 1, p. 85-96, Jan. 2005.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 211-218, abr./jun. 1999.

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C.; USECHE, R. A. Compression of agricultural soil from eight soil orders. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 3, p. 450-457, May/June 1980.

LEBERT, M.; BÖKEN, H.; GLANTE, F. Soil compaction – indicators for assessment of harmful changes to the soil in the context of the German Federal soil protection act. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 82, n. 3, p. 388-397, Feb. 2007.

LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, n. 2/3, p. 575–286, Feb. 1991.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 4. ed. Nova Odessa: Plantarum, 1994. 299 p.

OLIVEIRA, G. C. de; DIAS JUNIOR, M. de S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 291-299, fev. 2003.

O`SULLIVAN, M. F.; HENSHALL, J. K.; DICKSON, J. W. A simplified method for estimating soil compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 49, n. 4, p. 325-335, Jan. 1999.

PENG, X. H.; HORN, R.; ZHANG, B.; ZAHO, Q. G. Mechanisms of soil vulnerability to compaction of homogenized and recompacted Ultisols. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 2, p. 125-137, Apr. 2004.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo**. São Paulo: Fundação Cargil, 1987. 170 p.

RENA, A. B.; GUIMARÃES, P. T. G. **Sistema radicular do cafeeiro**: estrutura, distribuição, atividades e fatores que o influenciam. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 80 p. (EPAMIG. Série Documentos, 37).

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. de. **Guia de herbicidas**. 5. ed. Londrina: IAPAR, 2005. 592 p.

SIGMAPLOT. **Scientific graphing software**: versão 10. 0. San Rafael: Jandel, 2006.

SILVA, A. J. N. da; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 921–930, nov./dez. 2006.

SILVA, A. R.; DIAS JUNIOR, M. de S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ARAUJO JUNIOR, C. F. Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos efeitos das operações mecanizadas em um latossolo amarelo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 207–216, jan./fev. 2006.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SOARES, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um argissolo vermelho-amarelo distrófico arenico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I: estado inicial de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 1, p. 1-8, jan./fev. 2002.

SILVEIRA, G. M. da; KURACHI, S. A. H.; FUJIWARA, M. Métodos mecânicos e químico no controle de ervas daninhas em cafezal. **Bragantia**, Campinas, v. 44, n. 1, p. 173-178, jun. 1985.

SNEDECOR, G. W.; COCHARAN, W. G. **Statistical methods**. 8. ed. Ames: Iowa State University, 1989.

TAYLOR, D. W. **Fundamentals of soil mechanics**. New York: J. Wiley, 1948. 770 p.

TOPP, G. C.; FERRÉ, P. A. Water content. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical methods**. Madison: Soil Science Society of America, 2002. v. 4, p. 417–424.

VOGELER, I.; HORN, R.; WETZEL, H.; KRÜMMELBEIN, J. Tillage effects on soil strength and solute transport. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 88, n. 1/2, p. 193-204, July 2006.

VOORHEES, W. B. Root activity related to shallow and deep compaction. In: LARSON, W. E.; BLAKE, G. R.; ALLMARAS, R. R.; VOORHEES, W. B.; GUPTA, S. C. (Ed). **Mechanics and related processes in structured agricultural soils**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1989. p. 173-186.

ZHANG, B.; HORN, R.; HALLETT, P. D. Mechanical resilience of degraded soil amended with organic matter. **Soil Science Society American of Journal**, Madison, v. 69, n. 1, p. 864-871, May 2005.

ZHANG, X. Y.; CRUSE, R. M.; SUI, Y. Y.; JHAO, Z. Soil compaction induced by small tractor traffic in northeast China. **Soil Science Society American of Journal**, Madison, v. 70, n. 1, p. 613-619, Feb. 2006.

ANEXOS

ANEXO A		Página
TABELA 1A	Densidade do solo e teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico em três profundidades sob mata nativa e no centro das entrelinhas de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de plantas invasoras	134
TABELA 2A	Análise de variância para a densidade do solo em três profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico, quando submetido a diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras	135
TABELA 3A	Desdobramento do manejo dentro de cada profundidade para a densidade do solo (Ds) de um Latossolo Vermelho distroférico, quando submetido a diferentes manejos de plantas invasoras	135
TABELA 4A	Desdobramento da profundidade dentro de cada manejo para a densidade do solo de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e no centro das entrelinhas da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras	136
TABELA 5A	Análise de variância para o teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e no centro das entrelinhas da lavoura cafeeira em três profundidades e submetida a diferentes manejos de plantas invasoras	136
TABELA 6A	Desdobramento da profundidade dentro de cada manejo para o teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e no centro das entrelinhas da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras	137
TABELA 7A	Desdobramento do manejo dentro de cada profundidade para o teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e no centro das entrelinhas da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras	137

ANEXO B		Página
TABELA 1B	Densidade do solo e teores de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico em três profundidades sob mata nativa e na lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras na posição de amostragem, na linha de tráfego das máquinas e equipamentos	139
TABELA 2B	Análise de variância para a densidade do solo de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e na linha de tráfego da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras	140
TABELA 3B	Desdobramento do manejo dentro de cada profundidade para a densidade do solo de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras	140
TABELA 4B	Desdobramento de profundidade dentro de cada manejo para a densidade do solo de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras	141
TABELA 5B	Análise de variância para o teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos da lavoura cafeeiras em diferentes profundidades e submetidas a diferentes manejos de plantas invasoras	142
TABELA 6B	Desdobramento do manejo dentro de cada para o teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos na lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras	142
TABELA 7B	Desdobramento de profundidade dentro de cada manejo para o teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos na lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras	143

TABELA 1A Densidade do solo e teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico em três profundidades sob mata nativa e no centro das entrelinhas de cafeeiros submetidos a diferentes manejos de plantas invasoras.

Usos e manejos de plantas invasoras	Profundidade (cm)		
	0-3	10-13	25-28
	Densidade do solo (Mg m^{-3})		
Mata nativa (MATA)	0,89 Aa	0,98 Ab	1,09 Ac
Sem capina (SCAP)	1,03 Ba	1,22 Bb	1,20 Ab
Capina manual (CAPM)	1,19 Ca	1,23 Ba	1,18 Aa
Herbicida de pós-emergência (HPOS)	1,18 Ca	1,27 Bb	1,17 Aa
Roçadora (ROÇA)	1,20 Ca	1,23 Ba	1,19 Aa
Enxada rotativa (ENRT)	1,11 Ca	1,23 Ba	1,15 Aa
Grade (GRAD)	1,30 Db	1,23 Ba	1,19 Aa
Herbicida de pré-emergência (HPRÉ)	1,34 Db	1,30 Bb	1,18 Aa

Usos e manejos de plantas invasoras	Profundidade (cm)		
	0-3	10-13	25-28
	Carbono orgânico (g kg^{-1})		
Mata nativa (MATA)	15,7 aC	12,8 bA	10,4 bA
Sem capina (SCAP)	24,5 aA	14,3 bA	9,9 cA
Capina manual (CAPM)	15,1 aC	11,0 bB	8,3 bA
Herbicida de pós-emergência (HPOS)	16,8 aC	11,4 bB	8,3 cA
Roçadora (ROÇA)	21,2 aB	12,8 bA	8,7 cA
Enxada rotativa (ENRT)	20,3 aB	10,1 bB	8,5 bA
Grade (GRAD)	18,6 aB	10,1 bB	9,5 bA
Herbicida de pré-emergência (HPRÉ)	12,0 aD	9,3 bB	7,4 bA

As médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, dentro de cada atributo, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

TABELA 2A Análise de variância para a densidade do solo em três profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico, quando submetido a diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Manejos	7	0,0664	36,67**	0,0000
Blocos	2	0,0000	0,42 ^{ns}	0,6684
Erro a (Manejo x Blocos)	14	0,0018		
Profundidades	2	0,0211	7,40**	0,0023
Profundidades x manejo	14	0,0141	4,90**	0,0001
Erro b	32	0,0029		
Total	71			

**significativo pelo teste de F, a 1% de probabilidade; ns = não significativo.

C.V. manejos (%) = 3,61

C.V. Profundidades (%) = 4,55

Média geral = 1,18 Mg m⁻³

TABELA 3A Desdobramento do manejo dentro de cada profundidade para a densidade do solo (Ds) de um Latossolo Vermelho distroférico, quando submetido a diferentes manejos de plantas invasoras.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Manejos/0-3 cm	7	0,0632	25,07**	0,0000
Manejos/10-13 cm	7	0,0277	11,00**	0,0000
Manejos/25-28 cm	7	0,0037	1,47**	0,2021
Erro	45	0,0025		

**significativo, pelo teste de F, a 1% de probabilidade; ns = não significativo.

TABELA 4A Desdobramento da profundidade dentro de cada manejo para a densidade do solo de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e no centro das entrelinhas da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Profundidades/mata nativa	2	0,3000	11,93**	0,0001
Profundidades/sem capina	2	0,0351	13,95**	0,0000
Profundidades/capina manual	2	0,0020	0,80 ^{ns}	0,4525
Profundidades/herbic. de pós	2	0,0092	3,66*	0,0325
Profundidades/roçadora	2	0,0012	0,49 ^{ns}	0,6107
Profundidades/enxada rot.	2	0,0112	4,45*	0,0167
Profundidades/grade	2	0,0092	3,66*	0,0328
Profundidades/herbic. de pré	2	0,0217	8,63**	0,0006
Erro	45			

**significativo, pelo teste de F, a 1% de probabilidade; *significativo, pelo teste de F, a 5% de probabilidade; ns = não significativo.

TABELA 5A Análise de variância para o teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e no centro das entrelinhas da lavoura cafeeira em três profundidades e submetida a diferentes manejos de plantas invasoras.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Manejos	7	240,03	20,83**	0,0000
Blocos	2	1,65	0,50 ^{ns}	0,6155
Erro a (Manejo x Blocos)	14	23,04		
Profundidades	2	1073,64	156,25**	0,0000
Profundidades x manejo	14	171,56	3,57**	0,0014
Erro b	32	109,94		
Total	71	1619,86		

**significativo, pelo teste de F, a 1% de probabilidade; ns = não significativo.

C.V. manejos (%) = 10,03

C.V. Profundidades (%) = 14,50

Média geral = 12,79 g kg⁻¹

TABELA 6A Desdobramento da profundidade dentro de cada manejo para o teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e no centro das entrelinhas da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Profundidades/mata nativa	2	21,1300	7,44**	0,0016
Profundidades/sem capina	2	169,7433	59,79**	< 0,0001
Profundidades/capina manual	2	35,1700	12,39**	0,0001
Profundidades/herbic. de pós	2	55,9744	19,72**	< 0,0001
Profundidades/roçadora	2	122,6533	43,20**	< 0,0001
Profundidades/enxada rot.	2	123,9433	43,66**	< 0,0001
Profundidades/grade	2	77,7100	27,37**	< 0,0001
Profundidades/herbic. de pré	2	16,2744	5,73**	0,0060
Erro	45	2,8391		

**significativo, pelo teste de F, a 1% de probabilidade.

TABELA 7A Desdobramento do manejo dentro de cada profundidade para o teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e no centro das entrelinhas da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Manejos/0-3 cm	7	47,1232	16,59**	< 0,0001
Manejos/10-13 cm	7	8,7759	3,09**	0,0099
Manejos/25-28 cm	7	2,8994	1,02 ^{ns}	0,4300
Erro	45	2,8391		

**significativo, pelo teste de F, a 1% de probabilidade; ns = não significativo.

TABELA 1B Densidade do solo e teores de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico em três profundidades sob mata nativa e na lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras na posição de amostragem, na linha de tráfego das máquinas e equipamentos.

Usos e manejos de plantas invasoras	Profundidade (cm)		
	0-3	10-13	25-28
	Densidade do solo (Mg m ⁻³)		
Mata nativa (MATA)	0,89 aA	0,98 bA	1,09 cA
Sem capina (SCAP)	1,12 aB	1,26 bB	1,16 aB
Capina manual (CAPM)	1,11 aB	1,26 cB	1,18 bB
Herbicida de pós-emergência (HPOS)	1,20 aC	1,27 bB	1,22 aC
Roçadora (ROÇA)	1,24 aC	1,28 aB	1,24 aC
Enxada rotativa (ENRT)	1,10 aB	1,24 bB	1,22 bC
Grade (GRAD)	1,25 bC	1,26 bB	1,19 aB
Herbicida de pré-emergência (HPRÉ)	1,32 cD	1,26 Bb	1,15 aB
Usos e manejos de plantas invasoras	Profundidade (cm)		
	0-3	10-13	25-28
	Carbono orgânico (g kg ⁻¹)		
Mata nativa (MATA)	15,7aA	12,8bA	10,4cA
Sem capina (SCAP)	13,0aC	8,9bC	7,5cB
Capina manual (CAPM)	14,1aB	8,5bC	6,8cB
Herbicida de pós-emergência (HPOS)	13,5aB	9,3bC	7,0cB
Roçadora (ROÇA)	15,3aA	10,8bB	7,7cB
Enxada rotativa (ENRT)	14,1aB	9,3bC	7,3cB
Grade (GRAD)	12,6aC	8,7bC	7,5cB
Herbicida de pré-emergência (HPRÉ)	8,3aD	6,8bD	6,4bB

As médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas dentro de cada atributo não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

TABELA 2B Análise de variância para a densidade do solo de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e na linha de tráfego da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Manejos	7	0,3281	69,92**	< 0,0001
Blocos	14	0,0034	0,715 ^{ns}	0,7551
Erro a (Manejo x Blocos)	98	0,0047		
Profundidades	2	0,1597	35,81**	< 0,0001
Profundidades x manejo	14	0,0602	13,50**	< 0,0001
Erro b	224	0,0045		
Total	359			

**significativo, pelo teste de F, a 1% de probabilidade; ns = não significativo.

C.V. manejos (%) = 5,77

C.V. Profundidades (%) = 5,62

Média geral = 1,18 Mg m⁻³

TABELA 2B Desdobramento do manejo dentro de cada profundidade para a densidade do solo de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Manejos/0-3 cm	7	0,2639	58,17**	< 0,0001
Manejos/10-13 cm	7	0,1503	33,13**	< 0,0001
Manejos/25-28 cm	7	0,0342	7,55**	< 0,0001
Erro	320	0,0045		

**significativo, pelo teste de F, a 1% de probabilidade; ns = não significativo.

TABELA 4B Desdobramento de profundidade dentro de cada manejo para a densidade do solo de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos da lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Profundidades/mata nativa	2	0,1556	34,29**	< 0,0001
Profundidades/sem capina	2	0,0748	16,49**	< 0,0001
Profundidades/capina manual	2	0,0923	20,34**	< 0,0001
Profundidades/herbic. de pós	2	0,0164	3,61*	0,0275
Profundidades/roçadora	2	0,0109	2,39 ^{ns}	0,0906
Profundidades/enxada rot.	2	0,0830	18,31**	< 0,0001
Profundidades/grade	2	0,0236	5,21**	0,0058
Profundidades/herbic. de pré	2	0,1244	27,42**	< 0,0001
Erro	320	0,0045		

**significativo, pelo teste de F, a 1% de probabilidade; *significativo, pelo teste de F, a 5% de probabilidade; ns = não significativo.

TABELA 5B Análise de variância para o teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos da lavoura cafeeiras em diferentes profundidades e submetidas a diferentes manejos de plantas invasoras.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Manejos	7	24,0879	53,077**	0,0000
Blocos	2	0,4009	0,884 ^{ns}	0,4352
Erro a (Manejo x Blocos)	14	0,4538		
Profundidades	2	207,3558	496,248**	0,0000
Profundidades x manejo	14	2,7704	6,630**	0,0000
Erro b	32	0,4178		
Total	71			

**significativo, pelo teste de F, a 1% de probabilidade; ns = não significativo.

C.V. manejos (%) = 6,67

C.V. Profundidades (%) = 6,40

Média geral = 10,1 g kg⁻¹

TABELA 6B Desdobramento do manejo dentro de cada para o teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos na lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Manejos/0-3 cm	7	15,7683	36,68**	0,0000
Manejos/10-13 cm	7	9,3637	21,78**	0,0000
Manejos/25-28 cm	7	4,4966	10,46**	0,0000
Erro	46	0,4298		

**significativo, pelo teste de F, a 1% de probabilidade; ns = não significativo.

TABELA 7B Desdobramento de profundidade dentro de cada manejo para o teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico sob mata nativa e na linha de tráfego das máquinas e equipamentos na lavoura cafeeira submetida a diferentes manejos de plantas invasoras.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Profundidades/mata nativa	2	21,1300	49,16**	0,0000
Profundidades/sem capina	2	24,1911	56,79**	0,0000
Profundidades/capina manual	2	43,7700	101,82**	0,0000
Profundidades/herbic. de pós	2	33,2433	77,33**	0,0000
Profundidades/roçadora	2	43,8100	101,92**	0,0000
Profundidades/enxada rot.	2	36,7344	85,46**	0,0000
Profundidades/grade	2	20,7820	48,34**	0,0000
Profundidades/herbic. de pré	2	3,0877	7,18**	0,0018
Erro	46	0,4298		

**significativo, pelo teste de F, a 1% de probabilidade; *significativo, pelo teste de F, a 5% de probabilidade; ns = não significativo.