



ÉRIKA ANDRESSA DA SILVA

**AGREGAÇÃO POR MACROMORFOMETRIA E
“HIGH ENERGY MOISTURE
CHARACTERISTIC” EM LATOSSOLO E
CAMBISSOLO SOB MANEJO INTENSIVO NA
CAFEICULTURA**

LAVRAS – MG

2014

ÉRIKA ANDRESSA DA SILVA

**AGREGAÇÃO POR MACROMORFOMETRIA E “HIGH ENERGY
MOISTURE CHARACTERISTIC” EM LATOSSOLO E CAMBISSOLO
SOB MANEJO INTENSIVO NA CAFEICULTURA**

Dissertação 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 Mestre.

Orientador

Dr. Geraldo César de Oliveira

LAVRAS – MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Silva, Erika Andressa da.

Agregação por macromorfometria e “high energy moisture characteristic” em latossolo, cambissolo sob manejo intensivo na cafeicultura / Erika Andressa da Silva. – Lavras : UFLA, 2014.
78 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.
Orientador: Geraldo César de Oliveira.
Bibliografia.

1. Morfometria. 2. Metodologias. 3. Manejo intensivo do solo. 4. Índices de estabilidade de agregados. 5. HEMC. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.4

ÉRIKA ANDRESSA DA SILVA

**AGREGAÇÃO POR MACROMORFOMETRIA E “HIGH ENERGY
MOISTURE CHARACTERISTIC” EM LATOSSOLO E CAMBISSOLO
SOB MANEJO INTENSIVO NA CAFEICULTURA**

Dissertação 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 Mestre.

APROVADA em 25 de fevereiro de 2014.

Dr. Mozart Ferreira Martins UFLA

Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira UFLA

Dr. Geraldo César de Oliveira
Orientador

LAVRAS – MG

2014

À Deus e a todos que acreditaram em mim,

DEDICO AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir vencer mais esta jornada.

A minha família por todo apoio e confiança.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade.

Ao conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

A Embrapa Café, pelo apoio logístico.

Ao Dr. Geraldo César de Oliveira, pela oportunidade de trabalhar em sua equipe e por todo apoio recebido nestes quatro anos de orientação. Agradeço as sugestões, confiança e amizade, e mais os quatro anos de orientação no doutorado.

Aos coorientadores Prof. Dr. Milson Evaldo Serafim e Dr. Júnior Cezar Avanz, por toda ajuda recebida.

Aos professores Dr. Mozart Martins Ferreira e Luiz Fernando Coutinho, pela participação na banca de defesa.

A Prof. Dr. Carla Eloize Carducci agradeço o apoio, o saber dividido, as valiosas contribuições para o trabalho, os conselhos e a amizade sincera.

Ao Prof. Msc. Bruno Montoani Silva, não só por todos estes anos de coorientação, mas também pela sincera amizade, o apoio e a preocupação recebidos nos momentos mais difíceis da vida. Ao nosso professor emérito Dr. Alfredo Scheid Lopes, nossa inspiração de todos os dias.

A todos os professores da UFLA que participaram da minha formação, em especial ao prof. Dr. Nilton Curi, por acreditar em nossa equipe de trabalho.

Ao Prof. Dr. Vicente Gualberto, por todos os seus ensinamentos, confiança e amizade.

A nossas queridas secretárias Dirce de Cássia e Maria Alice, por todo apoio a nós alunos da pós-graduação, carinho e amizade.

A Empresa AP - Agropecuária Piumhi, em especial a Engº Agr. Msc. Joyce Cristina Costa e ao Engº Agrônomo Alessandro S. De Oliveira ,pelo apoio incondicional às pesquisas, confiança e profissionalismo.

A Engº Agr. Dulce Clarete e a Doroteo , pelo apoio técnico excepcional, confiança e amizade.

A Aline Antunes Dias, Isadora Bordini, Larissa Maia de Oliveira, Édila Maria de Rezende, Franciane Diniz e Kelly Nascimento Silva ,pela amizade sincera. É com vocês que divido os momentos difíceis, as felicidades e conquistas. Só vocês entendem os meus objetivos, a falta de tempo, o cansaço.

A super equipe física do solo, Zélio Medeiros, Diego Tassinari, Raphael Siqueira, Bruno Montoani, Samara, Guilherme, Paula Caruana, Paula Sant'Anna, por todas as horas de “salinha” compartilhadas, convivência e amizade.

A nossa equipe de iniciação científica: Izabela Lima, Carlos Eduardo, Petrus Peters, Helena Sanábio, Lucas Andrade, Jéssica e Alexandre meu muito obrigado. Agradeço por todas as toneladas de solo coletadas e análises laboratoriais, pelos dias ao sol e chuva, mas também pela amizade e companheirismo.

Aos amigos pós-graduandos em engenharia, fitotecnia, fitopatologia, entomologia, microbiologia agrícola, fisiologia vegetal e floresta.... César Henrique, Vanessa Figueiredo, Diana Suzete, Tenille, Érika Oliveira, Cinara, João José, Mariane Coelho, Fernando Henrique, Thaís, Aliny Reis, Maraísa...a todos vocês só posso desejar muito sucesso...e é claro.... o Doutorado..!

As amigas graduandas e futuras mestradas do Dep. Ciência do Solo (estou lendo a sorte!)...Jeane Moreira, Kize Almeida, Natana Castro.... com tanta dedicação... para vocês só falta mesmo é “darem o título de mestras”.

A todos os amigos do Facebook!

A todos os amigos da pós-graduação em Ciência do Solo (UFLA), Danielle, Diego, Barbara, Pedro Lima, Pedro Batista, Wharley, Marla, Luana, Laíze Vilela, Hélcio, Eduardo Cancellier, Alisson, Taylor, Sara, Henrique, Rosimar, Maykom Inocencio, Sabrina, Jacqueline, Sérgio, Maíra, Elidiane, Leandro, Vladimir, Aryane, Soraya, Geanderson, Andressa Guerra, Andressa Naves, Anita, Teotônio, Eduane, Gabriel, Fabrício por todas as disciplinas, congressos e festas compartilhados, pelo convívio e aprendizagem.

Aos amigos do mestrado profissional, Érica Marques, Rodrigo Pessoa e Wallison, por todas as lições de vida.

A todos os funcionários do DCS-UFLA!

A todos os amigos UFLA, IFET-Campus Muzambinho, PET' s (principalmente o PET-Agronomia UFLA, é claro.....!!!)

A todos os professores que passaram pela minha vida!

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo”.

(Martin Luther King)

“Sempre há uma outra chance, uma outra amizade, um outro amor, uma nova força. Para todo fim, um recomeço.”

(O Pequeno Príncipe)

“O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos dia após dia.”

(Robert Collier).

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO GERAL

Em solos tropicais, os estudos sobre a estabilidade de agregados com a técnica de High Energy Moisture Characteristic (HEMC) e macromorfometria são incipientes, bem como o uso dessas metodologias na avaliação de impactos gerados por sistemas de manejo conservacionistas. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar, por meio dessas metodologias, os efeitos promovidos por um sistema de manejo diferenciado, empregado na cafeicultura, no estado de agregação de Latossolo e Cambissolo. Nos estudos de caracterização macromorfométrica foram coletados agregados nas profundidades de 0,05, 0,20, 0,40 e 0,80 m em um Cambissolo originado de rochas pelíticas, após 17 meses da implantação do sistema de manejo. As análises dos agregados foram realizadas por meio de imagens 2D obtidas em 300 dpi de resolução espacial, por meio de um scanner. As variáveis de agregação área, perímetro, Rugness, compactidade, aspecto e diâmetro de Feret foram calculados com o software QUANTPORO. Para a determinação do estado de agregação de um Latossolo que recebeu diferentes doses de gesso na superfície, foi empregada a técnica HEMC. Agregados foram coletados nas profundidades de 0,05 e 0,20 m do solo na linha do cafeeiro em uma área experimental. Os tratamentos foram: G-0, sem gesso na linha; G-7, 7,0 t ha⁻¹ de gesso distribuído na linha do cafeeiro; G-28, 28 t ha⁻¹ de gesso distribuído na linha do cafeeiro; CV-0, manejo convencional, sem gesso na linha e sem *Braquiaria* sp. na entrelinha do cafeeiro. Os agregados foram colocados em funil de Buchner (500 mL) e umedecidos (2 mm h⁻¹; 100 mm h⁻¹), utilizando-se de bomba peristáltica com seringa volumétrica. Depois de saturados, os agregados foram submetidos ao aumento gradual do potencial matricial a partir do deslocamento de uma coluna de água (variando de 0 a 30 cm) para obtenção da curva de retenção de umidade ($U = f(\Psi)$), que serviu de base para os cálculos dos parâmetros de estabilidade: sucção modal, volume drenável de poros, índices de estabilidade (lento e rápido), razão DPV e razão de estabilidade. As metodologias empregadas, Macromorfometria e HEMC, apresentaram sensibilidade para a quantificação dos parâmetros de estabilidade de agregados e permitiram o diagnóstico dos efeitos do sistema de manejo sobre a qualidade estrutural do Latossolo e do Cambissolo em estudo.

Palavras-chave: Morfometria. Metodologias. Manejo intensivo do solo. Índices de estabilidade de agregados. HEMC.

GENERAL ABSTRACT

In tropical soils, studies on the stability of aggregates using the High Energy Moisture Characteristic (HEMC) technique and macromorphometry are incipient as are the use of these methodologies in the assessment of impacts generated by conservationist management systems. Thus, this study aimed at evaluating the effects promoted by a different management system, employed in coffee culture, on the aggregation state of Oxisols and Inceptisols. In the macromorphometric characteristics studies, aggregates were collected at the depths of 0.05, 0.20, 0.40 and 0.80 m in an Inceptisol originated from pelitic rocks, after 17 months of implementing the management system. The aggregate analyses were performed using 2D images obtained at a spatial resolution of 300 dpi by a scanner. The aggregation variables of area, perimeter, rugness, compactness, aspect and Feret diameter were calculated with the QUANTPORO software. In order to determine the aggregation state of an Oxisol which received different doses of gypsum to the soil surface, we used the HEMC technique. Aggregates were collected at the depths of 0.05 and 0.20 m on the coffee row of an experimental area. The treatments were: G-0, no gypsum on the row, G-7, 7.0 ton ha⁻¹ of gypsum distributed in the coffee row, G-28, 28 ton ha⁻¹ of gypsum distributed in the coffee row, CV-0, conventional management without gypsum on the coffee row and without *Braquiaria* sp. between rows. The aggregates were placed in a Buchner funnel (500 mL) and moisturized (2 mm h⁻¹; 100 mm h⁻¹), using a peristaltic pump with volumetric syringe. Once saturated, the aggregates underwent a gradual increase in the matric potential from the displacement of a water column (ranging from 0 to 30 cm) to obtain the moisture retention curve ($M = f(\Psi)$), which was the basis for calculating the stability parameters: modal suction, drainable pore volume (DPV), stability index (slow and fast), DPV ratio and stability ratio. The methodologies employed, Macromorphometry and HEMC, showed sensitivity to measuring the aggregate stability parameters and allowed the diagnosis of the effects of tillage systems on the structural quality of the studied Oxisols and Inceptisols.

Keywords: Morphometry. Methodologies. Intensive soil management. Aggregate stability indices. HEMC.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO 12
	REFERÊNCIAS 17
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS 21
	ARTIGO 1 Macromorfometria dos agregados de um Cambissolo cultivado com cafeeiro sob sistema inovador de manejo no cerrado ... 21
	ARTIGO 2 Aggregate stability by the "high energy moisture characteristic" method in Oxisol under differentiated management .. 54

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura brasileira vem se destacando pelos aumentos de produtividade e qualidade dos produtos obtidos. Nesse novo cenário, o emprego de boas práticas de manejo do solo além da preocupação voltada para a qualidade do produto, passa também a ser exigência para certificação do café (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CAFÉS ESPECIAIS, 2005; BRASIL, 2009). Nesse contexto, o emprego de sistemas de manejo que visam aumentos da produção e qualidade do produto aliados à qualidade estrutural do solo e a sustentabilidade ambiental têm ganhado notoriedade. No Brasil, um sistema de manejo que vem sendo praticado na Região Sul e Sudoeste do estado de Minas Gerais tem merecido a atenção de produtores, de agrônomos e de alguns pesquisadores, por contemplar conjuntamente várias práticas de preparo do solo e conservação do solo e da água, conhecidas e aceitas, associadas à adição de dose elevada de gesso na superfície do solo e cultivo de uma gramínea nas entrelinhas dos cafeeiros. Outro ponto marcante do sistema é o preparo do sulco de plantio com revolvimento e correção da acidez e da fertilidade do solo até 60 cm de profundidade (SERAFIM et al., 2011; SERAFIM et al., 2013).

Salienta-se que a aplicação de gesso agrícola na superfície do solo é a prática mais polêmica, pois embora o gesso seja uma importante fonte de cálcio e enxofre para as plantas, em altas doses pode condicionar a “lixiviação” de bases no perfil do solo, devido ao íon sulfato resultante da dissociação apresentar elevada mobilidade no solo (SERAFIM et al., 2012), sendo capaz de arrastar bases trocáveis. O lado positivo da “lixiviação” é o seu potencial de imobilizar o alumínio tóxico e também disponibilizar em profundidade os nutrientes redistribuídos, favorecendo o crescimento das raízes, permitindo a

exploração de um maior volume de solo e conseqüentemente, maior aproveitamento da água em profundidade pelo cafeeiro (SERAFIM et al., 2011; SILVA et al., 2012; SERAFIM et al., 2013).

Outro fato que tem provocado muita polêmica entre produtores e pesquisadores para a adoção do sistema, diz respeito ao manejo de braquiárias nas entrelinhas da lavoura cafeeira, função da competição por água e nutrientes (FIALHO et al., 2012). É de se destacar, entretanto, que as gramíneas podem contribuir com elevado aporte de matéria orgânica, que atua favoravelmente na agregação do solo (LIMA et al., 2012; SILVA et al., 2013;), podendo inclusive mitigar problemas advindos da compactação (MAGALHÃES et al., 2009; SEVERIANO et al., 2010; LIMA et al., 2012), devido à formação de bioporos que funcionam como rotas alternativas para o crescimento de raízes, além de promover aumento considerável na difusão de água, gases e nutrientes no solo (KONDO et al., 2012). No mais, sugestões de manejo racional de braquiária na entrelinha de culturas perenes são encontrados na literatura (FIALHO et al., 2011, FIALHO et al., 2012).

Apesar dos efeitos positivos da agregação do solo serem constantemente relacionados com o sucesso de muitos sistemas de manejo do solo (KONDO et al., 2012; SILVA et al., 2013), inclusive associado à qualidade ambiental dos agroecossistemas (CASALINHO et al., 2007), a forma de mensuração dos agregados e da sua estabilização não tem consenso na literatura.

Contudo, em busca de metodologias mais sensíveis para a quantificação da estabilidade de agregados, tem sido proposta, por muitos pesquisadores, a técnica denominada High Energy Moisture Characteristic (HEMC) (CHILDS, 1940; PIERSON; MULLA, 1989; LEVY; MAMEDOV, 2002; AVANZI et al., 2011), mas essa técnica é pouca divulgada no Brasil.

A análise HEMC é muito precisa por se basear no controle do umedecimento do material, o que é fundamental, pois as forças responsáveis

pelo rompimento dos agregados são a energia de hidratação e o ar preso no seu interior. Dessa forma, a estabilidade de agregados pode ser detectada por mudanças na distribuição de poros decorrentes dos processos de umedecimento, o que permite realizar a comparação entre sistemas de manejo, uma vez que todas as forças externas são eliminadas, não participando, portanto do processo de desagregação, o que torna a ação da chuva simulada (umedecimento lento/rápido) a única força atuante sobre os agregados.

Esta análise já foi utilizada inclusive na detecção do grau de susceptibilidade de solos com argilas ativas (2:1) ao selamento superficial (LEVY; MILLER, 1997). Sob taxa de umedecimento rápido, agregados com baixa resistência, apresentam pontos de fraqueza, e são rompidos rapidamente com o aumento da hidratação interna, o que indica a alta susceptibilidade ao selamento (LADO; BENHUR; SHAINBERG, 2004) e a erosão. Por outro lado, a análise pode ser utilizada para indicar solos menos susceptíveis à erosão, sendo que, nesse caso, aqueles que são expostos ao umedecimento controlado mantém intactos os agregados com potencial de manter elevadas taxas de infiltração (MAMEDOV; SHAINBERG; LEVY, 2002).

Em recente revisão, Logsdon, Berli e Horn (2013) apresentaram e discutiram resultados de curvas de retenção de água (com potencial matricial, ψ , variando de 0 a -5 J kg^{-1}), obtidas pelo método HEMC e ajustadas pelo modelo van Genuchten para mais de 200 amostras de solo de zonas úmidas e áridas. Neste trabalho, os autores enfatizaram que os parâmetros do modelo de van Genuchten foram ajustados com sucesso para a avaliação da influência de agregados de tamanho grande ($> 0,25 \text{ mm}$) e pequeno ($< 0,25 \text{ mm}$) na distribuição de poros dos solos estudados. A partir das curvas de retenção de água, construídas para as taxas de umedecimento rápido e lento, foram obtidos índices de estabilidade de agregados que distinguiram de maneira satisfatória os solos de boa e má qualidade estrutural.

Recentemente surgiu outra técnica inovadora baseada em estudos das análises digitais de agregados, que tem contribuído para a construção do conhecimento qualitativo acerca da estrutura de um solo (VIANA, 2001). Denominada macromorfometria, essa técnica fornece informações sobre o tamanho, forma, rugosidade e geometria dos agregados, o que permite comparar diferentes sistemas de manejo do solo no que diz respeito à maior ou menor agressividade à estrutura (CARVALHO et al., 2010; CREMON et al., 2011). A ideia de quantificar área, perímetro, aspecto e comprimento de agregados surgiu na Universidade Federal de Viçosa, e foi viabilizada a partir de modificações de softwares utilizados na quantificação de doenças foliares de plantas, surgindo como resultado o programa Quantporo para estudos com agregados de solo (VIANA, 2001).

No Brasil, a macromorfometria vem sendo pouco explorada, com destaque para alguns trabalhos desenvolvidos na Universidade Federal de Viçosa e Universidade Federal da Grande Dourados (Mato Grosso do Sul). Nesses estudos, os autores têm confirmado que as características morfométricas podem ser usadas como indicadoras da qualidade estrutural do solo, tendo em vista que forma e geometrias determinam o arranjo das partículas minerais, podendo desta forma interferir sobre a dinâmica de ar, água e nutrientes no solo, que, conseqüentemente, influenciam no desenvolvimento radicular das plantas (VIANA; FERNANDES FILHO; SCHAEFER, 2004; CREMON et al., 2009; CARVALHO et al., 2010, CREMON et al., 2011).

De maneira geral, a partir da caracterização macromorfolométrica dos agregados do solo, tem-se observado que sistemas de manejo, que preconizam o uso de práticas que elevam o aporte de material orgânico, promovem incremento na área dos agregados (OLSZEWSKI et al., 2004) na superfície e subsuperfície do solo, o que é indicativo de melhor agregação (CARVALHO et al., 2010; CREMON et al., 2011). Por outro lado, sistemas de manejos mais agressivos

tendem a pulverizar os agregados tornando-os mais arredondados (CREMON et al., 2009), ou seja, sistemas convencionais de manejo, com intenso revolvimento do solo, promovem o decréscimo da rugosidade da superfície externa, assim como do perímetro dos agregados.

Salienta-se que há uma carência de informações da aplicabilidade dessa ferramenta em estudos de agregação em diferentes classes de solo, uma vez que foi constatado que os trabalhos existentes foram realizados apenas em Latossolos.

Destaca-se, portanto que, em solos tropicais os estudos sobre a estabilidade de agregados usando a técnica de HEMC e Macromorfometria são incipientes, particularmente na avaliação de impactos gerados por sistemas de manejo conservacionistas. Objetivou-se, neste estudo, avaliar por meio dessas metodologias, alterações na agregação em Latossolo e Cambissolo submetidos à sistema de manejo diferenciado, empregado na cafeicultura.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CAFÉS ESPECIAIS. **Lista de verificação de sistemas de gestão sócio-ambiental**. Anexo RA 0552.04, ver. 01. Varginha: BSCA, 2005.
- AVANZI, J. C. Aggregate stability in soils cultivated with eucalyptus. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 89-96, Jan. 2011.
- BRASIL. Minas Gerais. **Certifica minas café: regulamento geral: 8ª revisão**. Belo Horizonte: Regulamento Certifica Minas Café, 2009. Disponível em: <http://intranet.ima.mg.gov.br/nova/gec/outros_documentos/Cafe/Regulamento%20certificaminascafe-versao8.pdf>. Acesso em: 09 set. 2013.
- CARVALHO, J. M. et al. Análise micromorfológica de agregados de um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 10, p. 275-285, 2010.
- CASALINHO, H. D. et al. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 195-203, abr./jun. 2007.
- CHILDS, E. C. The use of soil moisture characteristics in soil studies. **Soil Science**, Baltimore, v. 50, n. 4, p. 239-252, 1940.
- COLLIS-GEORGE, N.; FIGUEROA, B. S. The use of soil moisture characteristics to assess soil stability. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 22, p. 349-356, 1984.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999.
- CREMON, C. et al. Análise micromorfológica de agregados de um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 139-146, 2009.

CREMON, C. et al. Micromorfometria de agregados do solo sob diferentes sistemas de cultivo de arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 370-377, jul./set. 2011.

FIALHO, C. M. T. et al. Interferência de plantas daninhas sobre o crescimento inicial de *Coffea arabica*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 137-148, jan./mar. 2011.

FIALHO, C. M. T. et al. Teor foliar de nutrientes em plantas daninhas e de café cultivadas em competição. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 65-73, jan./mar. 2012.

KONDO, M. K. et al. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agronômicas do sorgo granífero. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 33-40, 2012.

LADO, M.; BENHUR, M.; SHAINBERG, I. Soil wetting and texture effects on aggregate stability, seal formation, and erosion. **Soil Science Society of America Journal**, New York, v. 68, n. 6, p. 1992-1999, Nov. 2004.

LEVY, G. J.; MAMEDOV, A. I. High energy moisture characteristic aggregate stability as a predictor for seal formation. **Soil Science Society of America Journal**, New York, v. 66, n. 5, p. 1603-1609, Sept. 2002.

LEVY, G. J.; MILLER, W. P. Aggregate stabilities of some Southeastern U.S. soils. **Soil Science Society of America Journal**, New York, v. 61, n. 4, p. 1176-1182, July 1997.

LIMA, V. M. P. et al. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 71-78, jan./fev. 2012.

LOGSDON, S.; BERLI, M.; HORN, R. Quantifying and modeling soil structure dynamics. In: MAMEDOV, A. I.; LEVY, G. J. **High energy moisture characteristics: linking between some soil physical processes and structure stability**. Madison: Soil Science Society of America Journal, New York, 2013. p. 41-74.

MAGALHÃES, E. N. et al. Recuperação estrutural e produção de capim-tifton 85 em um Argissolo Vermelho-Amarelo compactado. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 10, n. 1, p. 68-76, 2009.

MAMEDOV, A. I. et al. Aggregate stability as affected by polyacrylamide molecular weight, soil texture, and water quality. **Soil Science Society of America Journal**, New York, v. 71, n. 6, p. 1909–1918, Nov./Dec. 2007.

MAMEDOV, A. I.; SHAINBERG, I.; LEVY, G. J. Wetting rate and sodicity effects on interrill erosion from semi-arid Israeli soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 68, n. 2, p. 121-132, Dec. 2002.

OLSZEWSKI, N. et al. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 901-909, set./out. 2004.

PIERSON, F. B.; MULLA, D. J. An improved method for measuring aggregate stability of a weakly aggregated loessial soil. **Soil Science Society of America Journal**, New York, v. 53, n. 6, p. 1825-1831, Nov./Dec. 1989.

RIBEIRO, B. T. et al. Relationship between raindrops and ultrasonic energy on the disruption of a Haplic Cambisol. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 814-823, maio/june 2009.

SÁ, M. A. C. et al. Comparação entre métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1825-1834, set. 2000.

SERAFIM, M. E. et al. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 1, p. 75-81, 2012.

SERAFIM, M. E. et al. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 4, p. 362–370, abr. 2013.

SERAFIM, M. E. et al. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do alto São Francisco, MG: um estudo de caso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 6, p. 964-977, 2011.

SEVERIANO, E. C. et al. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 39-45, jan. 2010.

SILVA, B. M. et al. Índice S no diagnóstico da qualidade estrutural de Latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 338–345, 2012.

SILVA, E. A. et al. Increasing doses of agricultural gypsum, aggregate stability and organic carbon in Cerrado Oxisol under coffee crop. **Revista de Ciências Agrárias**, Buenos Aires, v. 56, n. 1, p. 25-32, 2013.

VIANA, J. H. M. **Análise de imagens micropedológicas com utilização do programa Quantpore e sua aplicação ao estudo de umedecimento e secagem em amostras de Latossolos**. 2001. 70 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

VIANA, J. H. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; SCHAEFER, C. E. G. R. Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 11-19, 2004.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal American Society of Agronomy**, Amsterdam, v. 28, n. 5, p. 337-351, May 1936.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1 Macromorfometria dos agregados de um Cambissolo cultivado com cafeeiro sob sistema inovador de manejo no cerrado

Érika Andressa da Silva ⁽¹⁾, Geraldo César de Oliveira ⁽¹⁾, Carla Eloize Carducci⁽²⁾, Bruno Montoani Silva⁽¹⁾, Petrus Humbertus Caspar Rosa Peters⁽¹⁾, Larissa Maia de Oliveira⁽¹⁾

(1) Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras/MG.

(2) Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Caixa Postal 101. CEP 89520-000, Curitibanos (SC).

**Artigo formatado de acordo com as normas para submissão da Revista
Biosciense Journal**

**MACROMORFOMETRIA DOS AGREGADOS DE UM
CAMBISSOLO CULTIVADO COM CAFEIEIRO SOB SISTEMA
INOVADOR DE MANEJO NO CERRADO**

MACROMORPHOMETRIC AGGREGATES OF A INCEPTISOL
CULTIVATED WITH COFEE UNDER INNOVATIVE TILLAGE SYSTEM
IN CERRADO

RESUMO: As características macromorfológicas dos agregados do solo são importantes ferramentas de análise e monitoramento da qualidade estrutural. O presente trabalho teve por objetivo caracterizar macromorfológicamente os agregados de um Cambissolo originado de rochas pelíticas sob sistema inovador de manejo do solo para o cultivo cafeeiro (SIMC). Os agregados foram coletados nas profundidades de 0,05, 0,20, 0,40 e 0,80 m, e foram utilizados os agregados retidos num conjunto de peneiras padrão, com malhas no intervalo de diâmetro de 8 a 4,76 mm. As análises dos agregados foram realizadas por meio de imagens 2D obtidas em 300 dpi de resolução espacial obtidas por escaneamento. Cada imagem continha 60 agregados selecionados aleatoriamente, e as variáveis de agregação foram calculadas com o software QUANTPORO. As variáveis morfológicas analisadas foram: área, perímetro, arredondamento, compacidade, aspecto e diâmetro de Feret.

Correlações entre as variáveis morfológicas determinadas pela análise de imagem e dos índices de agregação padrão (DMG, DMP e agregados retidos na classe > 2,00mm) obtidas por tamisamento úmido, foram executadas. Altas percentagens de agregados (> 96%) retidos na classe > 2,00 mm, altos valores de DMP (> 4,80 mm) e de DMG (> 4,50 mm) foram detectados nas profundidades de 0,05 e 0,20 m, bem como os maiores valores de diâmetro de Feret. O diâmetro de Feret apresentou maior poder de predição das alterações promovidas pelo manejo. Boas características estruturais do Cambissolo manejado sob as premissas do SIMC foram detectadas após 17 meses de implantação do sistema.

PALAVRAS-CHAVES: Imagens digitais. Morfometria. Manejo do solo. Qualidade estrutural.

INTRODUÇÃO

Os Cambissolos da região do Bioma Cerrado, particularmente aqueles desenvolvidos de rochas pelíticas pobres, normalmente apresentam sérias limitações químicas e físico-hídricas para o desenvolvimento adequado da maioria das culturas (ALMEIDA; RESENDE, 1985; RESENDE et al., 2007). As principais causas dessa limitação são a pequena profundidade do solum (horizontes A + B) e a elevada saturação por alumínio, associado à acentuada susceptibilidade à erosão devido à atributos físicos do solo e a posição ocupada

por estes solos na paisagem, normalmente em declive acentuado (SILVA et al., 2005; CURI et al., 1994; OLIVEIRA et al., 1994).

Apesar da relevância das limitações existentes, considerações sobre o manejo e sugestões de uso de grandes covas adubadas foram feitas por Almeida & Resende (1985) para o cultivo de plantas perenes nesses Cambissolos. Segundo os autores, não existe solo ruim e sim uso inadequado dele.

A Região Fisiográfica do Alto São Francisco, Minas Gerais, há algum tempo tem experimentado uma expansão da cafeicultura em diferentes classes de solos, com destaque para os Latossolos e os Cambissolos originados de rochas pelíticas pobres, salientando serem eles os solos de grande expressão geográfica na região (ALMEIDA; RESENDE, 1985). Como em condições naturais, particularmente os Cambissolos, são solos muito limitantes para o cultivo agrícola, nesta região há aproximadamente 10 anos surgiu a idéia de um sistema de manejo baseado na agricultura de conservação com uma proposta inovadora, denominada Sistema AP Romero que é inovador no manejo do solo para cultivo cafeeiro (SIMC). Em outras palavras, este utiliza práticas de conservação simples que visam à preservação e, ou, melhoria das condições físico-hídricas e químicas do solo promovendo o aprofundamento do sistema radicular do cafeeiro. Essas práticas reduzem as limitações de uso das terras tornando-as viáveis para o cultivo do cafeeiro na região, em condição de sequeiro, mesmo em áreas de solos relativamente rasos.

Sistemas de manejo que preconizam o uso de práticas que elevam o aporte de material orgânico e uso de gesso agrícola, como o SIMC, promovem incremento na área dos agregados (OLSZEWSKI et al., 2004) na superfície e subsuperfície do solo, o que é indicativo de melhor agregação (CARVALHO et al., 2010). Por outro lado, sistemas de manejo mais agressivos tendem a pulverizar os agregados tornando-os mais arredondados (CREMOM et al 2009), ou seja, sistemas convencionais de manejo, com intenso revolvimento do solo, promovem o decréscimo da rugosidade da superfície externa, assim como do perímetro dos agregados.

O entendimento da qualidade física do solo é fundamental, principalmente quando se visa conhecer a resultante da adoção de práticas conservacionistas para um manejo sustentável de produção (TÓTOLA; CHAER, 2002). Neste contexto, o emprego de análises digitais de agregados contribui para a construção do conhecimento qualitativo e quantitativo acerca da estrutura de um solo, ao fornecer informações sobre a geometria dos agregados. Esta técnica, denominada análise macromorfométrica, permite comparar diferentes sistemas de manejo do solo no que diz respeito à maior ou menor impacto à estrutura (VIANA et al., 2004, CARVALHO et al., 2010), ou mesmo na obtenção de conhecimentos acerca de melhoria estrutural. Sendo assim, salienta-se a importância deste uso na detecção dos impactos do SIMC na morfologia dos agregados. Por outro lado, as características morfométricas são indicadoras da

qualidade estrutural do solo, tendo em vista que sua forma e geometria determinam o arranjo das partículas minerais, podendo desta forma interferir sobre a dinâmica de ar, água e nutrientes no solo, que consequentemente influenciam no desenvolvimento radicular das plantas (CARVALHO et al., 2010).

Neste aspecto, o presente trabalho teve por objetivo caracterizar os agregados de um Cambissolo originado de rocha pelítica da região do Alto São Francisco-MG sob sistema inovador de manejo para o cultivo do cafeeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em lavoura cafeeira comercial com 1,5 ano de implantação, pertencente à Empresa AP, localizada no município de Vargem Bonita, MG, próximo às nascentes do Rio São Francisco. A classificação climática para a região é do tipo Cwa, clima temperado brando com verão quente e úmido e inverno seco de acordo com Köppen. O solo foi classificado segundo Embrapa (2006) como Cambissolo Háptico distrófico Tb típico (CXbd), de textura argilosa sobre Siltito (Tabela 1).

Tabela 1. Análises físicas e teor de matéria orgânica para os horizontes A e B do Cambissolo Háptico distrófico Tb típico.

HZ	Prof. (m)	Silte(g kg ⁻¹).....	Argila	Areia	Ds(g cm ⁻³).....	VTP	MOS dag/kg
A	0-0,1	180	570	250	0,89	0,63	3,95
Bi	0,1-0,31	190	590	220	0,92	0,61	3,30

HZ: horizonte, Prof. : profundidade do solo; Ds: densidade do solo; VTP: volume total de poros; MOS: matéria orgânica do solo. Adaptado de Serafim (2011).

Com base no Sistema Brasileiro de Capacidade de Uso da Terra (LEPSCH et al., 1991) e devido as limitações de declividade do terreno (e-1), pequena profundidade efetiva do solo (s-1), elevada quantidade de cascalhos (s-3) e seca prolongada (c-1), a gleba deste estudo foi classificada por Serafim (2011) como pertencente à classe VIe-1,s-1-3,c-1.

Terras enquadradas nesta classe de capacidade de uso deveriam ser indicadas para uso restrito com pastagens e reflorestamento. Entretanto, autores como Severiano et al. (2009) e Serafim et al.(2011), vem demonstrando que com manejo adequado, empregando técnicas apropriadas como manutenção de resíduos sob a superfície do solo e terraceamento, dentre outros, é possível que glebas de terras com capacidade de uso limitado sofram alterações significativas possibilitando novos usos com maior produção e renda para os agricultores. Desta forma, apesar das limitações da terra, usando as premissas do SIMC,

atualmente, o cafeicultor vem observando bom desenvolvimento das plantas e obtendo elevada produtividade de grãos (SERAFIM et al., 2011) no CXbd.

Salienta-se que no SIMC para a implantação das lavouras, o solo é preparado nos meses de julho e agosto, sendo feito aração e gradagem, calagem, adubação e preparo do sulco do solo com equipamento especial a 0,60 m de profundidade, objetivando alívio estrutural e mistura dos fertilizantes. Este preparo profundo do solo proporciona um ambiente favorável ao rápido crescimento das raízes e, portanto, rápido estabelecimento dos cafeeiros.

A aplicação do gesso é realizada no mês de fevereiro ou março, sendo usados 28 ton.ha⁻¹ na linha de plantio do cafeeiro. O gesso foi aplicado a 50 cm na lateral e ao longo da linha de cultivo seguido de “amontoa de terra no pé das plantas” com mistura de solo e restos de *Braquiária* sp proveniente da entre linha.

Conforme descrito em Serafim et al. (2011) e Silva et al. (2012), o plantio da *Braquiária* sp é feito antes da implantação da lavoura. A gramínea recebe adubação de cobertura e periodicamente são feitos cortes, utilizando uma roçadeira ecológica, tipo rolo faca movida à tração animal. Os resíduos provenientes dos cortes são colocados na linha de plantio, sendo os resíduos vegetais uma fonte constante de matéria orgânica para o solo.

Para a experimentação foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Foram coletados blocos de solo com estrutura preservada

em camadas localizadas abaixo da camada de gesso amontoado, nas profundidades de 0,05, 0,20, 0,40 e 0,80 m em duas posições de amostragem: linha e entrelinha da cultura.

Posteriormente, os blocos foram levemente desagregados (mantendo a estrutura original) secos ao ar e passados entre peneiras de 8,00 e 4,76 mm. Os agregados retidos na peneira inferior foram utilizados para determinação de suas estabilidades em água e aquisição das imagens digitais. As imagens foram realizadas em três repetições para cada profundidade, e cada imagem contemplou 60 agregados selecionados aleatoriamente. A aquisição das imagens foi feita por meio do scanner Modelo Mustek^R e reproduzidas em resolução espacial de 300 dpi recomendado para essa análise de imagens (VIANA et al., 2004). As imagens obtidas foram processadas e quantificadas por meio do software QUANTPORO (programa computacional desenvolvido por pesquisadores do departamento de ciência do solo da Universidade Federal de Viçosa, cujos maiores detalhes podem ser encontrados em Viana (2001)), que tem capacidade de processar e analisar diferentes imagens e avaliar características morfológicas de objetos em geral.

No software o primeiro passo foi selecionar o canal de cores adequado ao processamento, neste caso o RGB (red, green e blue) para o pré-processamento. Estas cores são combinadas para produzir a imagem colorida, e a informação contida em cada pixel é composta pelos valores relativos destas. Obtida a

imagem RGB esta foi submetida a uma filtragem por meio do filtro de mediana que opera substituindo os valores de cada pixel pelo valor da mediana dos pixels da vizinhança. Seu efeito principal consiste na redução de pixels isolados, grande parte destes ruídos ou artefatos, que ocasionam distorções principalmente nas medidas de perímetro. Todas as imagens ainda foram convertidas em sua forma binária [0,1], ou seja, constituída pelas cores pretas e brancas por meio do comando de limiarização manual (*Threshold*) do programa. As características analisadas de cada agregado foram:

1. Área (cm²): medida com o número de pixels no polígono, indicando o estado de agregação do solo (capacidade de formação de agregados);
2. Perímetro (cm): comprimento da projeção do limite exterior do Agregado;
3. Aspecto: fornece o resultado entre 0 e 1, e, quanto maior o valor, maior o grau de arredondamento. Esta variável refere-se à forma do agregado e esta relacionado com o efeito dos sistemas de cultivo sobre a morfologia dos mesmos. Logo um agregado mais arredondado (Asp = 1) está relacionado a um sistema de manejo mais agressivo, com maior revolvimento, e um agregado menos arredondado (preponderantemente arestado), está relacionado com um sistema de cultivo com menor revolvimento, isso porque o arredondamento se da pela quebra das arestas dos agregados. Calculado pela expressão:

$$Ard = \frac{4 \times \pi \times \frac{\pi d^2}{4}}{(\pi d)^2}$$

4. Rugosidade (Rug): medida dependente da rugosidade da superfície externa do agregado (perímetro). Expressa as estrias do agregado, sendo que, quanto mais liso mais próximo de 1.

5. Diâmetro de Feret (DF): relação entre o diâmetro de um círculo com a mesma

área do objeto é calculado a partir da fórmula:
$$DF = \left(\frac{4 * \frac{\pi d^2}{4}}{\pi d} \right)$$

6. Compacidade (Cmp): fornece uma medida da circularidade do objeto, sendo dependente da medida do comprimento do maior eixo. Varia de 0 a 1 e, se for igual a 1, o agregado é perfeitamente circular. É calculado a partir da

fórmula:
$$Cmp = \left(\frac{4 * \frac{\pi d^2}{4}}{\pi d} \right) \div \text{Comprimento do maior eixo}$$

Os dados obtidos de área e perímetro dos agregados do solo foram submetidos ao teste de distribuição de frequências, sendo as classes definidas segundo a fórmula de Stunges ($K = 1 + 3,22 \times \log n$), sendo K o número de classes e n o número total de indivíduos da população (60 agregados).

Para a determinação da estabilidade de agregados em água, descrito por Kemper e Chepil (1986), os agregados retidos na peneira de menor diâmetro de malha foram selecionados para a investigação. Assim, 25g de solo de cada amostra foram pesadas e pré-umedecidas. Decorridos 12 horas foi realizado o tamisamento úmido das amostras utilizando-se de um conjunto de peneiras de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm de diâmetro, conforme descrito por Yoder

(1936). Transcorridos 15 minutos, as porções retidas em cada peneira foram transferidas para potes de alumínio com o auxílio de jatos de água, e secas em estufa a 105-110 °C por um período de 24 h para posterior pesagem e obtenção dos índices de agregação: 1- Porcentagem de agregados retidos em cada peneira, 2- diâmetro médio ponderado (DMP), e 3 - diâmetro médio geométrico (DMG), conforme descrito por Kemper e Chepil (1965).

Os dados obtidos das análises dos agregados do solo foram submetidos à análise de variância, e quando pertinente ao teste comparação entre médias por Scott-Knott ao nível nominal de 5% de probabilidade por meio do software SISVAR (FERREIRA, 2011), o teste de correlação de Pearson e os gráficos foram gerados no programa computacional Sigma Plot 11.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas profundidades superficiais foram encontradas altas percentagens de agregados retidos na classe de diâmetro > 2,00 mm, e na profundidade de 0,80 m, que se refere ao horizonte Cr, particularmente nas entre linhas da cultura, os menores valores (Tabela 2).

Tabela 2. Percentagem média de agregados em diferentes classes de tamanho (mm) para as profundidades de ambas as posições estudadas (linha e entrelinha) em um CXbd¹ sob SIMC².

Prof. (m)	% Distribuição de agregados em classe (Linha)					
	8-2,00*	2-1*	1-0,5*	0,5-0,25 ^{ns}	0,25-0,105*	< 0,105***
0,05	96,2 a	1,11 b	0,96 b	0,63 a	0,58 b	0,43 b
0,20	96,6 a	1,23 b	0,88 b	0,51 a	0,42 b	0,32 b
0,40	81,7 b	6,44 a	5,27 a	3,52 a	2,07 a	0,96 b
0,80	72,4 b	8,18 a	6,83 a	4,48 a	2,99 a	5,03 a
Prof. (m)	% Distribuição de agregados em classe (Entrelinha)					
	8-2,00***	2-1**	1-0,5**	0,5-0,25***	0,25-0,105***	< 0,105*
0,05	94,7 a	1,84 b	1,24 b	0,77 b	0,52 b	0,87 b
0,20	93,1 a	2,54 b	1,61 b	0,94 b	0,75 b	1,02 b
0,40	98,4 a	0,51 b	0,39 b	0,24 b	0,21 b	0,16 b
0,80	67,3 b	7,20 a	6,67 a	5,19 a	4,33 a	9,20 a

¹ CXbd: Cambissolo Háplico Tb típico; ²SIMC: Sistema inovador de manejo do solo para cultivo cafeeiro. Prof.: profundidade do solo. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott. * significativo (p < 0,05); ** significativo (p < 0,01); *** significativo (P < 0,001); ^{ns} não significativo.

O preparo inicial do solo na linha de cultivo que consistiu no sulcamento até 0,60 m, parece ter exercido efeito somente na profundidade de 0,40, avaliada, tendo em vista os menores valores de DMG, DMP (Figura 1) nesta posição de amostragem. A profundidade de 0,40 m se refere ao horizonte Bi, e isto mostra a fragilidade da estrutura deste horizonte nestes solos (ALMEIDA; RESENDE (1985), contrastando com o horizonte A que sofre menor interferência devido à matéria orgânica.

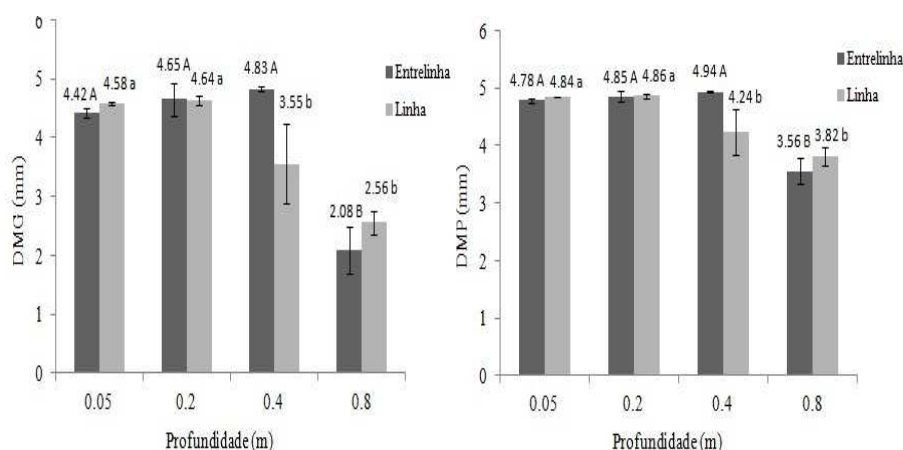


Figura 1. Valores médios do diâmetro médio geométrico (DMG, mm) e diâmetro médio ponderado (DMP, mm) para as posições de amostragem: linha e entrelinha em diferentes profundidades do CXbd sob SIMC. Médias seguidas por mesma letra maiúscula comparam profundidades da posição entrelinha e médias seguidas de mesma letra minúscula comparam profundidades da posição linha.

No SIMC o manejo da *Braquiária* sp cultivada na entrelinha da cultura é realizada por meio de cortes periódicos e posterior distribuição dos resíduos na linha de cultivo junto a planta do cafeeiro (SERAFIM et al., 2011; SILVA et al., 2013). Desta forma, como os restos vegetais são distribuídos tanto na linha quanto na entrelinha da cultura, sua decomposição traz efeitos positivos na agregação, favorecendo a formação de agregados > 2,0 mm (macroagregados) em ambas as posições de amostragem (Tabela 2). Destaca-se também que a ação do sistema radicular da gramínea e do cafeeiro libera exsudados que elevam a atividade dos micro-organismos do solo o que contribui nos processos de

formação e estabilização destes agregados (COSTA JÚNIOR et al., 2012).

Neste sistema de manejo que se utiliza de gesso agrícola e gramíneas, tem sido observada uma elevada quantidade de raízes ao longo do perfil do solo (SERAFIM, 2011; SILVA et al., 2013). A distribuição das raízes das plantas no solo exerce grande influência na formação e estabilização dos agregados, devido a ação da força mecânica produzida com seu crescimento que aproximam as partículas minerais (FOLONI et al., 2006), assim como à liberação de exsudados orgânicos e polissacarídeos (COSTA JÚNIOR et al., 2012). Estes formam redes pegajosas que unem as partículas individuais do solo e os pequenos microagregados em aglomerados maiores denominados macroagregados.

A matéria orgânica decorrente do manejo da *Braquiária* sp cultivada nas entrelinhas e dos resíduos do cafeeiro abaixo da saia (projeção da copa) contribui para o suprimento de carbono ao solo, favorecendo a biota do solo e, conseqüentemente, a estabilização dos agregados formados, como observado por Silva et al.(2013) em Latossolo Vermelho distrófico oxídico-gibítico de textura muito argilosa. Entretanto, a contribuição efetiva do sistema radicular do cafeeiro e da *Braquiária* sp, e mesmo a ação dos micro-organismos nos processos de reagregação de solos manejados com elevadas doses de gesso ainda é desconhecida, sendo necessários maior detalhamento nas investigações

Para a posição linha, foi observada uma redução linear nos valores dos índices DMG e DMP com o aumento da profundidade (Figura 2).

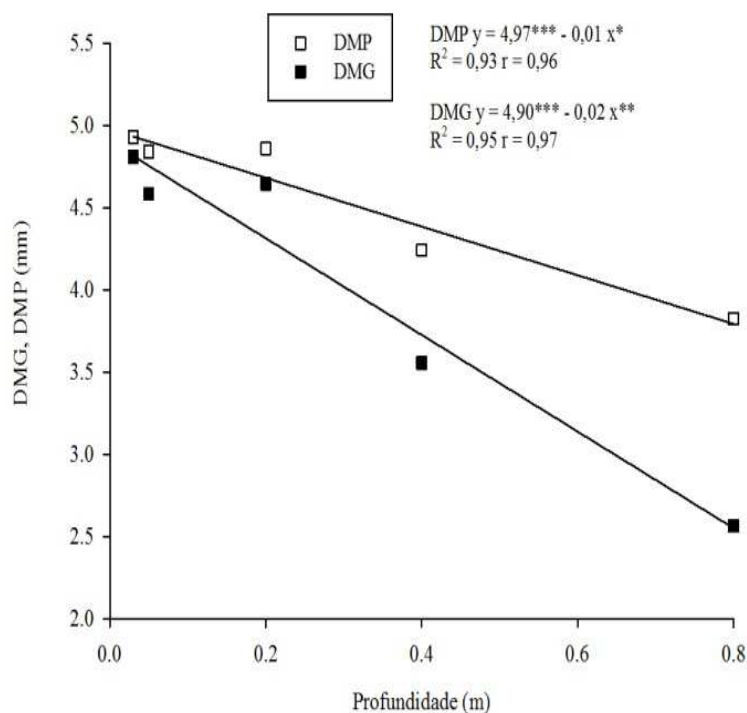


Figura 2. Diâmetro médio geométrico (DMG, mm) e diâmetro médio ponderado (DMP, mm) na linha de cultivo em diferentes profundidades em CXbd sob o SIMC. * significativo ($P < 0,05$); ** significativo ($P < 0,01$);*** significativo ($p < 0,001$).

Como as avaliações foram feitas quando os cafeeiros apresentavam 1,5 anos de implantação do SIMC, esperam-se mais resultados benéficos em profundidade com o tempo, uma vez que ainda existe uma camada de gesso não dissolvida próxima a profundidade de 0,20 m, e com o tempo é possível que os efeitos do gesso agrícola se pronunciem em profundidade nas características de agregação do solo.

Vale ressaltar que autores como Cremon et al. (2009) constataram em seu trabalho que após a aplicação de 2 Mg ha⁻¹ de gesso, ocorreu uma tendência acentuada à agregação e formação de agregados em profundidade em um Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso, sob vegetação de cerrado. Os autores, ao estudar as características morfométricas dos agregados, relataram ter ocorrido um incremento de área dos agregados e atribuíram seus resultados ao efeito flocculante desse condicionador de solo.

Com relação à posição de amostragem, na entrelinha do cafeeiro, não foram observadas diferenças significativas entre as profundidades do solo para as características macromorfométricas avaliadas (Tabela 3). Salienta-se que este fato, possivelmente se deveu a ausência do preparo de solo profundo nesta posição, o que provavelmente preservou a estrutura naturalmente intacta dos agregados do CXbd.

Tabela 3. Valores médios de área (Ar), perímetro (Per), aspecto (Asp), Rugosidade (Rug), diâmetro de Feret (DF) e compacidade (Cmp) na posição entrelinha em diferentes profundidade do CXbd¹ sob SIMC².

Prof. ³ (m)	Ar ...cm ²	Per ..cm..	Asp	Rug	DF	Cmp
0,05	0,50 a	5,31 a	0,81 a	0,28 a	1,00 a	0,00 a
0,20	0,60 a	6,42 a	0,79 a	0,35 a	0,87 a	0,00 a
0,40	0,52 a	9,75 a	0,84 a	0,11 a	0,58 a	0,00 a
0,80	0,51 a	8,20 a	0,78 a	0,15 a	0,74 a	0,01 a

¹CXbd: Cambissolo Háplico Tb típico; ²SIMC: sistema inovador de manejo do solo para cultivo cafeeiro. ³ Prof.: profundidade do solo. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P < 0,05).

Na entrelinha os parâmetros macromorfométricos Cmp, DF e Ar poderiam

expressar o efeito negativo do tráfego de máquinas (colheita, pulverização, roçada e outros) sob a estrutura do solo. Contudo, observa-se pelos valores de Cmp ($< 1,0$), DF ($> 0,5$) e Rug ($< 0,40$) que a tração animal e o manejo da *Braquiaria* sp possivelmente vem contornando as limitações decorrentes das operações de cultivo, favorecendo a ausência de agregados lisos, compactos e circulares. Isto provavelmente também está relacionado à atuação do sistema radicular agressivo desta gramínea. Com raízes finas e abundantes, quando bem manejadas, as gramíneas são capazes de promover alívio na estrutura de solos compactados e adensados (LIMA et al., 2012).

Observa-se que as camadas superficiais (0,05 e 0,20 m) apresentaram uma leve tendência a apresentar agregados com maior DF (Tabela 3), e isso se deve ao fato de que nestas, o contato com os resíduos culturais é maior em relação às camadas mais profundas (PINHEIRO et al., 2004; MARTINS et al., 2009).

Para a posição de amostragem linha, onde houve o revolvimento, as variáveis Rug, área, perímetro e diâmetro de Feret diferiram entre as profundidades (Tabela 4), entretanto as demais foram semelhantes nas profundidades, mesmo considerando a alta sensibilidade das análises macromorfológicas em detectar pequenas variações nos resultados (OLSZEWSKI et al., 2004).

Tabela 4. Valores médios de área (Ar), perímetro (Per), aspecto (Asp), Rugosidade (Rug), diâmetro de Feret (DF) e compactidade (Cmp) na posição linha em diferentes profundidades do CXbd¹ sob o SIMC².

Prof. ³ (m)	Arcm ²	Percm....	Asp	Rug	DF	Cmp
0,05	0,70 a	5,79 b	0,77 a	0,36 a	0,84 a	0,00 a
0,20	0,62 b	5,11 b	0,76 a	0,35 a	0,97 a	0,01 a
0,40	0,65 b	6,71 b	0,81 a	0,28 a	0,74 b	0,00 a
0,80	0,61 b	10,2 a	0,73 a	0,11 b	0,62 b	0,00 a

¹CXbd: Cambissolo Háplico Tb típico; ²SIMC: sistema inovador de manejo do solo para cultivo cafeeiro. ³Prof.: profundidade do solo. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Na profundidade de 0,05 m, devido às altas quantidades de resíduos provenientes do manejo da braquiária, os agregados apresentaram uma maior área e isto é muito relevante tendo em vista que, a presença de agregados de maiores dimensões favorece a melhoria na macroporosidade do solo, o que propicia o desenvolvimento do sistema radicular das plantas de cafeeiro. Além disso, os agregados são mais quadrados e mais lisos até a profundidade de 0,40 m o que indica o efeito do preparo do solo associado a mineralogia do CXbd, que favorece a formação da estrutura em blocos.

Em diversos estudos, em solos sob diferentes sistemas de manejo, muitos autores encontraram agregados distribuídos em classes de tamanho de área e perímetro (Figura 3) inferiores aos aqui relatados.

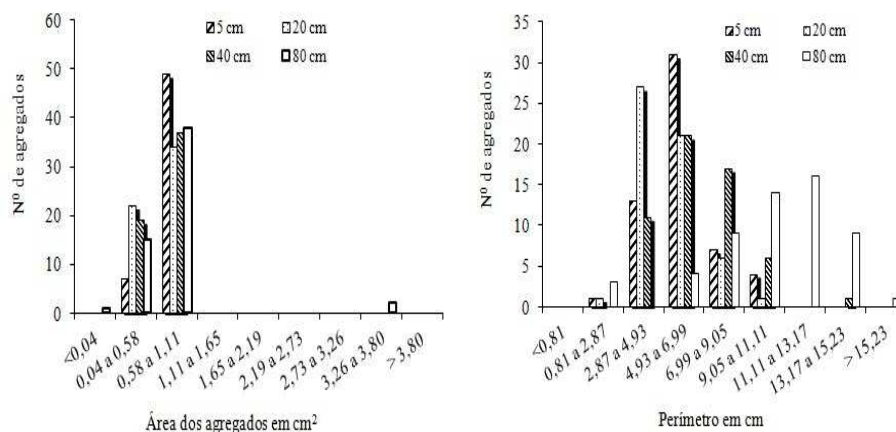


Figura 3. Frequência dos agregados em cada classe de área (cm²) e perímetro (cm) nas profundidades de 0,05; 0,20; 0,40 e 0,80 m na linha de cultivo de um CXbd sob SIMC.

Carvalho et al. (2010) conduzindo um experimento em Latossolo Vermelho distroférico, sob diferentes tipos de uso e manejo, encontrou a maior frequência de agregados nas classes entre 0,173-0,21 cm² e 0,059-0,155 cm² para este solo sob mata nativa; nas classes entre 0,231-0,268 cm² e 0,173-0,21 cm² no solo ocupado com pastagem de *Brachiaria brizantha* (após pastejo extensivo por bovino durante 10 anos); nas classes entre 0,231-0,268 cm² e 0,351 a 0,55 cm² no solo manejado com cana-de-açúcar sob sistema de colheita mecanizada.

Segundo Cremon et al. (2011) a diferença na área dos agregados se deve em parte ao aporte de material vegetal no solo e desta forma, as variáveis em estudo provavelmente tiveram seu desempenho influenciado pelo SIMC, quando neste

sistema, conforme já salientado, o material das camadas superficiais provém da amontoa de gesso com parte do solo de superfície rico em carbono vindo da entrelinha (SERAFIM et al., 2011; SILVA et al., 2012).

Nas profundidades de 0,05, 0,20 e 0,40 m na linha foram detectados maiores valores para Rug e menores valores para o Per (Tabela 4). Em todas as profundidades prevaleceram agregados de forma preponderantemente quadrada ($0,73 < Asp < 0,82$). Corroborando com Cremom et al. (2011), a variável Rug foi capaz de detectar mudanças na estrutura externa dos agregados do que a variável aspecto, pois demonstrou existir efeitos do sistema de manejo sob a superfície externa dos agregados, quando as camadas revolvidas (0 a 0,40 m) apresentaram agregados rugosos ($Rug < 0,40$). Esses resultados demonstram que o SIMC contribuiu para a formação e manutenção de agregados com maior quantidade de estrias. Este tipo de agregado é desejável quando propicia uma melhor dinâmica hídrica bem como a aeração é mais uniforme ao solo (CREMON et al., 2009), proporcionando contato irregular entre um agregado e outro e portanto mais espaços vazios.

Sistemas de manejo menos agressivos devem apresentar menores valores para o índice Cmp (OLSZEVISK et al., 2004), no entanto este índice foi similar nas profundidades avaliadas (Tabela 4). Contudo, salienta-se que os valores encontrados em todas as profundidades estudadas, estão muito abaixo de 1, valor considerado indicador de sistemas de manejo capazes de promover degradação

estrutural.

Verificou-se a correlação negativa ($r = -0,63$) entre a DMG e o Per, de forma que quando ocorre um aumento no DMG o Per sofre uma redução (Tabela 5). A forte correlação negativa ($r = -0,78$) existente entre os agregados da classe < 105 mm e Rug era esperada, uma vez que agregados menores apresentam aspecto arredondado, são lisos e sem presença de estrias externas marcantes. Agregados com estas características expressam o início de degradação da estrutura e sua presença nas camadas superficiais do solo é indesejável, por favorecer maior perda de solo e acentuar problemas erosivos.

Tabela 5. Coeficientes de correlação entre classes de tamanho de agregados, DMP, DMG e características macromorfológicas do CXbd¹ sob SIMC².

Agregado	Per	Asp	DF	Rug
> 2,00 mm	-0,563	0,224	0,629*	0,602*
< 105 mm	0,671*	-0,457	-0,657*	-0,788**
DMP	-0,576	0,235	0,637*	0,613*
DMG	-0,633*	0,273	0,665**	0,797***

¹CXbd: Cambissolo Háplico Tb típico; ²SIMC: sistema inovador de manejo do solo para cultivo cafeeiro. *significativo $P < 0,05$, ** significativo $P < 0,01$, *** significativo $P < 0,001$.

Observou-se a correlação positiva da fração de agregados $> 2,00$ mm, DMP e DMG com o DF e Rug. Agregados maiores, quadrados e rugosos apresentam maior DMG. O arranjo destes agregados favorece uma organização estrutural

que propicia um melhor desenvolvimento do sistema radicular. Em observações de campo, pela técnica de avaliação visual do perfil cultural, verificou-se uma elevada concentração destes agregados até a profundidade de 0,40 m e a presença abundante de raízes intra e entre agregados, o que sugere que as práticas de manejo empregadas permitiram as raízes vencer as camadas localizadas logo abaixo do sulco (0,60 m), naturalmente adensadas, caracterizadas pela presença de material originado de uma rocha podre e sem nutrientes.

A correlação negativa observada entre DF e profundidade (Figura 4) é coerente no sentido da menor expressão de estruturação dos horizontes subsuperficiais que nesta classe de solos é composto de mistura de materiais, presença de fragmentos de rocha; cores variegadas; textura siltosa, pouco poroso.

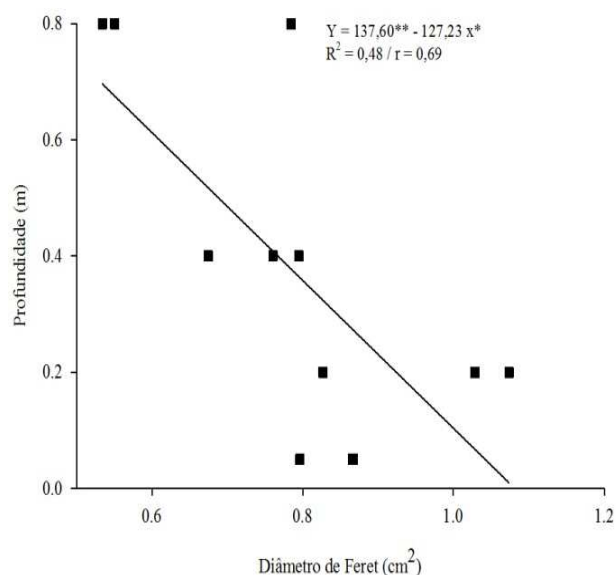


Figura 4. Correlação e regressão linear entre Diâmetro de Feret e profundidade na linha de um Cambissolo sob SIMC.

Os elevados valores de DF (Tabela 4) encontrados nas profundidades de 0,05 e 0,20 m ajudam a justificar o vigor das plantas neste solo, nas condições sob o manejo estudado, salientando que em condições naturais o solo apresenta muitas limitações físico-hídricas. Os resultados positivos em termos de agregação nestas profundidades do CXbd submetido ao SIMC provavelmente vem condicionando melhorias na relação solo-ar-água, favorecendo o crescimento radicular das plantas em profundidade, o que favorece a maior exploração do solo por água e nutrientes, o que é promovido principalmente pelos elevados conteúdos de matéria orgânica (Tabela 1) observados em solos

submetidos a este sistema de manejo (SERAFIM et al., 2011; SILVA et al., 2012; SILVA et al., 2013).

Os resultados apresentados neste trabalho demonstram que após 1,5 anos de implantação já podem ser observados sinais de melhorias na estrutura do CXbd manejado segundo as premissas do SIMC que tem como principal diferencial sobre os demais sistemas o preparo profundo, uso de alta dose de gesso adicionado na superfície do solo, e o manejo de gramíneas na entrelinha da lavoura cafeeira.

As análises de imagens atestaram que o sistema de manejo que se utiliza de gesso e gramíneas promoveu importantes diferenças morfológicas dos agregados do CXbd, podendo ser utilizada como uma ferramenta de diagnóstico nos estudos de qualidade estrutural do solo. Salienta-se que esta metodologia para estudos de agregados apresenta vantagens quando comparada a métodos tradicionais, como tamisamento úmido (YODER, 1936) por se tratar de um processo de baixo custo, elevada precisão e acurácia além de execução simples, em que o usuário necessita apenas de um computador e um scanner. Na atual geração das tecnologias portáteis, com base nos resultados deste estudo e visando trabalhos futuros, sugere-se que a obtenção das imagens dos agregados de solo seja realizada até mesmo em campo, de forma rápida e segura, permitindo aos pesquisadores expressar numericamente a forma e tamanho das estruturas em condições naturais.

CONCLUSÕES

As análises macromorfológicas representam uma importante ferramenta na detecção de alterações estruturais promovidas pelo SIMC.

Após 1,5 anos de implantação foram detectados aumento nas dimensões dos agregados, assim como melhor qualidade estrutural do Cambissolo.

Os efeitos do sistema de manejo na linha de cultivo são mais expressivos até a profundidade de 0,4 m, o que está relacionado com a profundidade de abertura do sulco.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos de fomento FAPEMIG, CNPq e EMBRAPA Café pelo apoio financeiro, e ao DCS/UFLA pelo apoio institucional.

AGGREGATE MACROMORPHOMETRY OF AN INCEPTISOL
CULTIVATED WITH COFFEE UNDER INNOVATIVE TILLAGE SYSTEM
IN THE CERRADO

ABSTRACT: Soil aggregate macromorphometric characteristics are important tools for analyzing and monitoring its structural quality. This work aimed at macromorphometrically characterizing the aggregates of an Inceptisol originated from politic rock, under an innovative soil management system for coffee culture (IMSC). The aggregates were collected at the depths of 0.05, 0.2, 0.4 and 0.8 m, using the aggregates retained in a standard sieve set with meshes at an interval of 8 to 4.76 mm. The analyses were performed by means of 2D images obtained in a 300 dpi spatial resolution through scanning. Each image presented 60 randomly selected aggregates, and the aggregation variables were calculated using the QUANTPORO software. The morphological variables analyzed were: area, perimeter, rounding, compactness, aspect and Feret diameter. We executed correlations between the morphologic variables determined by the image analysis and the standard aggregate indexes (DMG, DMP and aggregates retained in class >2.00 mm), obtained by humid wet sieving method. High percentages of aggregates (>96%) retained in class >2.00 mm, High DMP (>4.80 mm) and DMG (>4.50 mm) values were detected at the depths of 0.05 and 0.2 m, as well as higher values for the Feret diameter, which

presented higher prediction power of the alterations caused by the managing. Good structural characteristics of the Inceptisol managed under the IMSC premises were detected 17 months after the system's implementation.

KEYWORDS: Digital images. Morphometry. Soil management. Structural quality.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J.R. & RESENDE, M. Considerações sobre o manejo de solos rasos desenvolvidos de rochas pelíticas no Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, 11:19-26, 1985.
- CARVALHO, J.M., CREMON, C., MAPELI, N.C., NUNES, M.C.M., SILVA, W.M., MAGALHÃES, W.A.DE., SANTOS, A.S. Análise micromorfométrica de agregados de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Agrarian**. Dourados, v.3, n.10, p.275-285, 2010.
- CREMON, C.; SACCO, D.; GRIGNANI, C.; JÚNIOR, E.J.R.; MAPELI, N.C. Micro morfometria de agregados do solo sob diferentes sistemas de cultivo de arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 370-377, jul./set. 2011.

CREMON, C.; JÚNIOR, E.J.R.; SERAFIM, M.E.; ONO, F.B. Análise micromorfométrica de agregados de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 139-146, 2009.

COSTA JUNIOR, C.; PÍCCOLO, M.C.; SIQUEIRA NETO, M.; CAMARGO, P.B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.1311-1321, 2012.

CURI, N.; CHAGAS, C.S.; GIAROLA, N.F.B. Distinção de ambientes agrícolas e relação solo - pastagens nos Campos da Mantiqueira, MG. In: CARVALHO, M.A.; EVANGELISTA, A.R.; CURI, N. Desenvolvimento de pastagens na Zona Fisiográfica Campos das Vertentes, MG. Lavras: ESAL/Embrapa, 1994. p.21-43.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006.

FERREIRA, D.F. SISVAR 5.0. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L. de; BÜLL, T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.49-57, 2006.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A, ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, p.499-510,1986.

LEPSCH, I.F., Coord. Manual para levantamento utilitário de meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4ª aproximação. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

LIMA,V.M.P.;OLIVEIRA,G.C.; SERAFIM, M.E.; CURI, N.; EVANGELISTA, A.R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado.**Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.1, p. 71-78, 2012.

MARTINS, M.R.; CORA, J.E.; JORGE, R.F. & MARCELO, A.V. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.104, p.22-29, 2009.

OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M. & CURI, N. Caracterização físico-hídrica de Cambissolos da microrregião Campos da Mantiqueira (MG). **Ciência Prática**, Lavras, v.18, p.341-348, 1994.

OLSZEWSKI, N.; COSTA, L. M.; FERNANDES FILHO, E.I.; RUIZ, H. A.; ALVARENGA, R. C. & CRUZ, J. C. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, p. 901-909, 2004.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G. & ANJOS, L.H.C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Oxisol from Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.77, p.79-84, 2004.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. 5.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007. 322p.

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G.C.; OLIVEIRA, A.S.; LIMA, J.M.; GUIMARÃES, P.T.G.; COSTA, J.C. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do Alto São Francisco, MG: um estudo de caso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.6, p.964-977, Nov/Dez, 2011.

SERAFIM, M. E. Sistema conservacionista e de manejo intensivo na melhoria de atributos do solo para a cultura do cafeeiro. Tese de doutorado, Universidade Federal de Lavras, UFLA: Lavras, 2011.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; CURI, N.; DIAS JUNIOR, M. Potencial de uso e qualidade estrutural de dois solos cultivados com cana-de-açúcar em Goianésia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.159-168, 2009.

SILVA, E. A.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, C. E.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, L. M.; COSTA, J. C. Doses crescentes de gesso agrícola,

estabilidade de agregados e carbono orgânico em Latossolo do Cerrado sob Cafeicultura. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 56, n. 1, p. 25-32, jan./mar. 2013.

SILVA, B.M., OLIVEIRA, G.C., SILVA, E.A., OLIVEIRA, L.M., SERAFIM, M.E. Índice S no diagnóstico da qualidade estrutural de Latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 03, p. 338-345, 2012.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M. AVANZI, J. C. & FERREIRA, M. M.. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v.40, p.1223-1230, 2005.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ VENEGAS, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F. de; MELLO, J.W.V. COSTA, L.M. da. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.195-276.

VIANA, J.H.M.; FERNANDES FILHO, E.I.; SCHAEFER, C.E.G.R. Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.11-19, 2004.

VIANA, J. H. M. Análise de imagens micropedológicas com utilização do programa Quantporo e sua aplicação ao estudo de umedecimento e secagem em amostras de Latossolos. 2001. 70 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal American Society of Agriculture**, St. Joseph, v.28, p:337-351, 1936.

ARTIGO 2. Aggregate stability by the "high energy moisture characteristic" method in Oxisol under differentiated management²

Érika Andressa da Silva³, Geraldo César de Oliveira⁴, Bruno Montoani Silva⁵,
Carla Eloize Carducci⁶, Júnior Cesar Avanzi⁷ & Milson Evaldo Serafim⁸

**Artigo formatado de acordo com as normas para submissão da Revista
Brasileira de Ciência do Solo**

² Parte da Dissertação de Mestrado da primeira autora apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras – UFLA, projeto com recursos do CNPq e Fapemig. Recebido para publicação em 30/09/2013.

³ Mestranda em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 3037. CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista CNPq. E-mail: andressa_erika@hotmail.com.

⁴ Professor Associado do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. E-mail: geraldooliveira@dcs.ufla.br.

⁵ Professor Substituto e Doutorando em Ciência do Solo, UFLA. Bolsista do CNPq. E-mail: brunom@dcs.ufla.br

⁶ Professora da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Caixa Postal 101. CEP 89520-000, Curitibanos (SC). E-mail: elocarducci@hotmail.com.

⁷ Engenheiro Agrícola, Dr. Pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas (TO). CEP 77.020-020. E-mail: junior.avanzi@embrapa.br.

⁸ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Av. dos Ramires, s/n, Bairro Distrito Industrial. CEP 78.200-000 Cáceres (MT). E-mail: milson.serafim@cas.ifmt.edu.br.

**AGGREGATE STABILITY BY THE HIGH ENERGY MOISTURE
CHARACTERISTIC METHOD IN OXISOL UNDER
DIFFERENTIATED MANAGEMENT**

SUMMARY

Studies with the High Energy Moisture Characteristic (HEMC) technique are still incipient in tropical soils. However, since it is considered as having potential for evaluating impacts derived from the adoption of management systems, this study aimed at determining, through this methodology, the aggregation state of an Oxisol that received different doses of gypsum on the surface and was managed under coffee culture with *Brachiaria* between rows. We studied the soil depths of 0.05 and 0.20 m in the coffee row, in an experimental area located in the Upper São Francisco region, Minas Gerais, Brazil. The treatments were doses of 0.0, 7.0 and 28.0 t ha⁻¹ of agricultural gypsum distributed on the soil surface and coffee row, with a periodical *Brachiaria* cut between rows, compared to treatment without *Brachiaria* between coffee rows and no gypsum on the row. In order to determine the aggregation state using HEMC, the aggregates were placed in a Buchner funnel (500 mL) and moisturized, using a peristaltic pump with volumetric syringe. The moisturizing was conducted in an ascending manner at two pre-set speeds: slow (2 mm h⁻¹) and fast (100 mm h⁻¹). Once saturated, the aggregates underwent gradual increase in the matric potential from the displacement of a water column (ranging from 0 to 30 cm) in order to obtain the moisture retention curve ($M = f(\Psi)$), which was the basis for the calculations of the stability parameters: modal suction, drainable pore volume (DPV), stability index (slow and fast), DPV ratio and stability ratio. The High Energy Moisture

Characteristic methodology presented sensitivity to quantifying the aggregate stability parameters and, independent of gypsum doses used, the soil managed with *Brachiaria* between coffee rows, with regular cuts performed in the crop row direction, presented lower susceptibility to disaggregation.

Index terms: aggregation, coffee production, management systems, methodology.

RESUMO: ESTABILIDADE DE AGREGADOS PELO MÉTODO “HIGH ENERGY MOISTURE CHARACTERISTIC” EM LATOSSOLO SOB MANEJO DIFERENCIADO

Estudos com a técnica High Energy Moisture Characteristic (HEMC) ainda são incipientes em solos tropicais, mas por considerá-la como tendo potencial de avaliação dos impactos decorrentes da adoção de sistemas de manejo, este trabalho objetivou determinar por meio desta metodologia o estado de agregação de um Latossolo que recebeu diferentes doses de gesso na superfície e foi manejado na cafeicultura com braquiária nas entre linhas. Foram estudadas as profundidades de 0,05 e 0,20 m do solo na linha do cafeeiro em uma área experimental localizada na região do Alto São Francisco, MG. Os tratamentos foram às doses de 0,0; 7,0 e 28,0 t ha⁻¹ de gesso agrícola distribuído na superfície do solo e na linha do cafeeiro, com presença e corte periódico de braquiária na entrelinha, comparado a tratamento sem braquiária na entrelinha do cafeeiro e sem gesso na linha. Para determinação do estado de agregação do solo empregando HEMC os agregados foram colocados em funil de Buchner (500 mL) e umedecidos, utilizando-se de bomba peristáltica com seringa volumétrica. O umedecimento se deu de maneira ascendente em duas velocidades pré-estabelecidas: lenta (2 mm h⁻¹) e rápida (100 mm h⁻¹). Depois de

saturados, os agregados foram submetidos ao aumento gradual do potencial matricial a partir do deslocamento de uma coluna de água (variando de 0 a 30 cm) para obtenção da curva de retenção de umidade ($U = f(\Psi)$) que serviu de base para os cálculos dos parâmetros de estabilidade: sucção modal, volume drenável de poros (DPV), índices de estabilidade (lento e rápido), razão DPV e razão de estabilidade. A metodologia High Energy Moisture Characteristic apresentou sensibilidade para a quantificação dos parâmetros de estabilidade de agregados, e independente das doses de gesso utilizadas, o solo manejado com braquiária na entre linha do cafeeiro com cortes periódicos direcionados para a linha da cultura apresentou menor susceptibilidade à desagregação.

Termos de indexação: agregação, cafeicultura, sistemas de manejo, metodologia.

INTRODUCTION

The Brazilian coffee has been standing out due to by increases in productivity and quality of the products obtained. In this new scenario, the use of good soil management practices, besides concern focused on product quality, also becomes a requirement for coffee certification (BSCA, 2005; Minas, 2013). In this context the use of management systems that aim to increase production and product quality, allied with soil structural quality and environmental sustainability have gained notoriety. In Brazil, a management system that has been practiced in the South and Southwest of Minas Gerais has attracted the attention of producers, agronomists and some researchers by jointly considering various known and accepted tillage and soil and water conservation practices associated with adding high dose of gypsum on the soil surface and a grass crop between the coffee plants rows. Another notable point of the system is the

preparation the planting furrow with mixing and correction of acidity and fertility of the soil at 60 cm depth (Serafim et al., 2011; Serafim et al., 2013).

It is noted that the application of gypsum on the soil surface associated with the presence of *Brachiaria* as cover crop between rows are more controversial practices, because although the gypsum is an important source of calcium and sulfur for plants, at high doses it may condition the "leaching" of bases in the soil profile, because the sulfate ion resulting from its cleavage has high mobility in soil (Serafim et al., 2012) being able to carry away exchangeable bases. The positive side of this "leaching" is, besides the potential for immobilizing toxic aluminum, also providing nutrient redistribution at depth, favoring root growth, allowing exploration of a larger soil volume and hence greater use of water at depth by the coffee plant (Serafim et al., 2011; Silva et al., 2012; Serafim et al., 2013).

As the cultivation of grass between the coffee tree rows, despite the competition for water and nutrients (Fialho et al., 2012), can contribute to high input of organic matter which acts favorably on soil aggregation (Lima et al., 2012; Silva et al., 2013) and may also reduce problems arising from compression (Magalhães et al., 2009; Severiano et al., 2010; Lima et al., 2012) due to formation of biopores which act as alternate routes for root growth, and promote considerable increase in water, gas and nutrient diffusion into the soil (Kondo et al., 2012). Suggestions for rational *Brachiaria* management between lines of perennial crops are found in the literature (Fialho et al., 2011; Fialho et al., 2012).

Despite the positive effects of soil aggregation being constantly related to the success of many soil management systems (Kondo et al., 2012; Silva et al., 2013), and including association to the environmental quality of agroecosystems (Casalinho et al., 2007), the manner of aggregate measurement and their stability have no consensus in the literature. Thus, traditional

methodologies such as: wet and dry sieving (Yoder, 1936), simulated raindrop impact resistance, and ultrasonic energy (Ribeiro et al., 2009), have application limitations (Sá et al., 2000).

In order to circumvent some limitations of traditional techniques, a technique called High Energy Moisture Characteristic (HEMC) (Childs, 1940) has been proposed, which has been improved over recent decades (Pierson & Mulla, 1989; Levy & Mamedov, 2002). However, being relatively untested in tropical soils, its divulgation in Brazil has occurred only recently (Avanzi et al., 2011). This technique consists in the greater control of the wetting of the aggregates, aiming to better manage the hydration energy and the effects of air trapped within the aggregates, as these are the forces responsible for their slaking. Thus, it is a very sensitive technique (Avanzi et al., 2011), which enables, possibly, even to detect small changes in pore size distribution due to soil use, allowing to conduct a comparison of management systems.

As studies using the HEMC technique are still incipient in tropical soils, but by considering it as having potential of evaluating impacts resulting from the adoption of management systems, this paper aims to test it, in order to evaluate the aggregate stability and quantification of inter-aggregate porosity in a clayed Red Oxisol under a coffee crop that received different doses of surface gypsum and using intercropping with *Brachiaria*, compared to the lack of use of these two practices.

MATERIAL AND METHODS

The experimental area is located in the municipality of São Roque de Minas, physiographic region of the Upper São Francisco (20° 15' S and 46° 22' W, 900 m asl), in Minas Gerais, Brazil. The soil in this study was classified according to Embrapa (2006), as gibbsitic-oxidic dystrophic Red Oxisol very

clayey texture (LVd) (Table 1), which has been cultivated with coffee (*Coffea arabica* L.), Catucaí Yellow variety.

Table 1. Chemical and physical characterization of horizons "Ap" and "Bw" of the Red Oxisol.

Horizon	Texture			Sulfuric acid digestion				Ki	Kr
	Clay	Silt	Sand	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅		
	----- g kg ⁻¹ -----								
Ap	763	198	39	102	355	157	1.32	0.49	0.38
Bw	819	148	33	105	392	169	0.98	0.46	0.36

The treatments consisted of two management systems, identical regarding implantation time, which consisted of furrowing up to 60 cm deep with incorporation of lime plus gypsum, and fertilizers, following recommendations to the State of Minas Gerais (CFSEMG, 1999), the difference being in the use of *Brachiaria* between rows and application of different gypsum covering doses on the crop rows (Table 2).

In one system the additional gypsum doses were added in coverage along the planting row followed by the gathering of soil from between rows. The gathering was done by tractor blade, consisting of soil and crop residues. In addition, for 2.5 years the *Brachiaria* management was conducted with periodic cutting, as well as monitoring the nutritional status of the plants (Serafim et al., 2011).

Table 2. Experimental treatments with different coffee crop management systems.

Treatment	System	Cover crop	Gypsum coverage (t ha ¹)
CV-0	Conventional	Absent	0
G-0	Differentiated	Braquiaria	0
G-7	Differentiated	Braquiaria	7
G-28	Differentiated	Braquiaria	28

Before the crop implantation in November 2008, the soil was prepared between the months of July and August, performing the following operations: plowing and disking, liming and gypsum, furrow preparation with the rotary spade at 0.60 m and fertilization (Serafim et al., 2011).

The application of additional covering gypsum was made between the months of February and March 2009 at the doses of each treatment and was carried out in a 0.5 m range on the coffee plant rows. After the soil gathering, the gypsum was covered with approximately 0.15 m of soil (Serafim et al., 2011, Silva et al., 2012; Silva et al., 2013).

The soil sample collection was conducted in the planting row at a depth of 0.05 m (at the gathered piles for the differentiated management) and 0.20 m (but below the gypsum layer in the differentiated management case). At the sampling time the coffee crop was 2.5 years old.

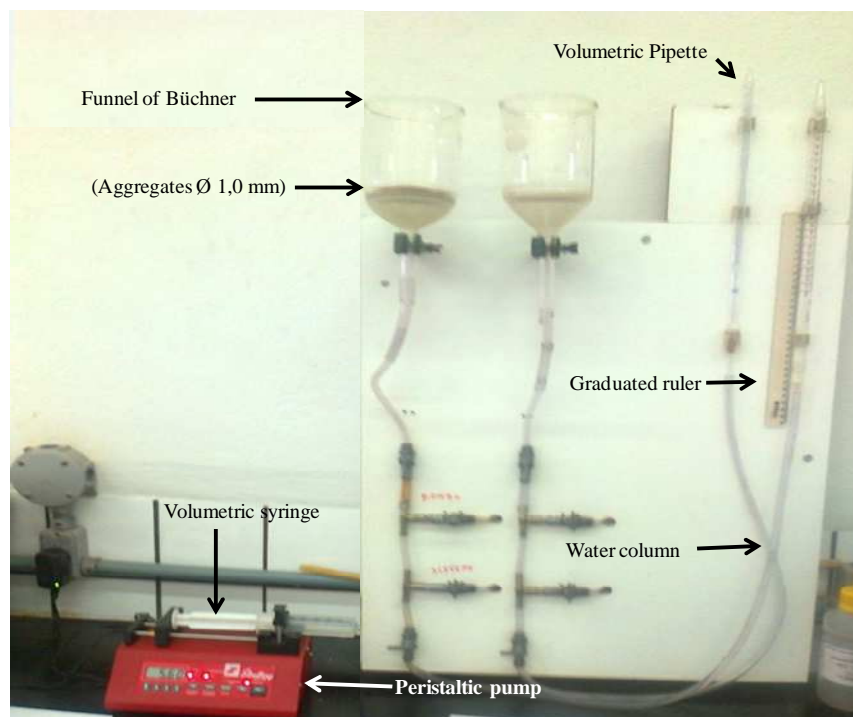


Figure 1. Equipment designed to evaluate the stability of aggregates by the HEMC methodology adapted from Avanzi et al. (2011).

To assess the soil aggregate stability by the High Energy Moisture Characteristic (HEMC) technique based on the methodology described in Pierson & Mulla (1989), equipment adapted from Avanzi et al. (2011), was developed in the of Physics and Soil Conservation Laboratory as shown in Figure 1.

For the HEMC tests we used 15 g of dry aggregates with dimensions from 0.5 to 1.0 millimeter in diameter, placed in fritted funnels (previously saturated). As such, thin layers of aggregates (Mamedov & Levy, 2002) were accommodated on the porous material and gradually wet at an increasing rate with two pre-set speeds: slow (2 mm h^{-1}) and fast (100 mm h^{-1}). After complete saturation of the aggregates, tensions were applied to the samples, and moisture

values obtained from each tension were used to generate soil moisture curves for each wetting rate (Figure 2). The moisture characteristic curve ($M = f(\Psi)$) was obtained with a matric potential (Ψ) ranging from 0 to -3 kPa using the displacement of a water column (0-30 cm). To accurately calculate the volume of drainable pores (DPV) and modal suction (MS), moisture characteristic curves were fitted using a modified van Genuchten model, proposed by Pierson & Mulla (1989), according to equation 1:

$$U = U_r + (U_s - U_r)[1 + (\alpha\Psi)^n]^{1/n-1} + A\Psi^2 + B\Psi + C \quad (1)$$

where: U_s and U_r are the saturated and residual gravimetric water contents, respectively, α and n are empirical parameters for the model and determined from the inflection of the characteristic curve moisture plotted for the observed data, and, A , B , and C are the quadratic terms suggested by Pierson & Mulla (1989) to best fit the curve. The water specific capacity curve ($du/d\psi$) necessary for obtaining the modal suction values (MS) was calculated by differentiation according to equation 2.

$$\left(\frac{du}{d\psi}\right) = (U_s - U_r)[1 + (\alpha\Psi)^n]^{\left(\frac{1}{n}-1\right)} \left(\frac{1}{n} - 1\right) (\alpha\Psi)^n \left(\frac{n}{\{\Psi[1 + \alpha\Psi^n]\}}\right) + 2A\Psi + B \quad (2)$$

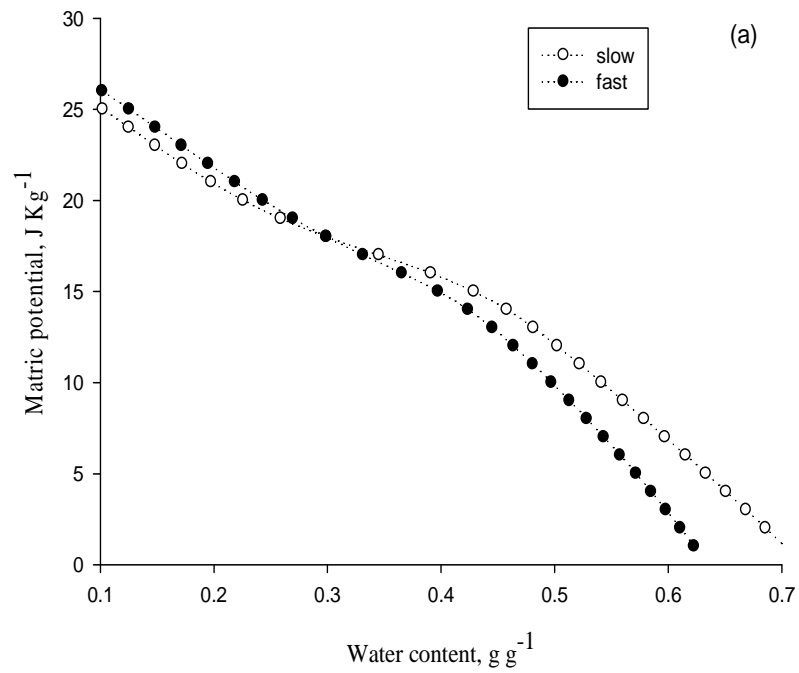


Figure 2. Schematic representation of the water drain curve.

The drainable pore volume (DPV) was calculated by subtracting the pore contraction conditions ($2A\psi + B$) from the equation [2], and integrating this equation analytically. The DPV corresponds to the area under the moisture characteristic curve (Figure 3) and above the solid line. The modal suction (MS), in turn, is the value of Ψ at the maximum point of the moisture characteristic curve (Figure 3).

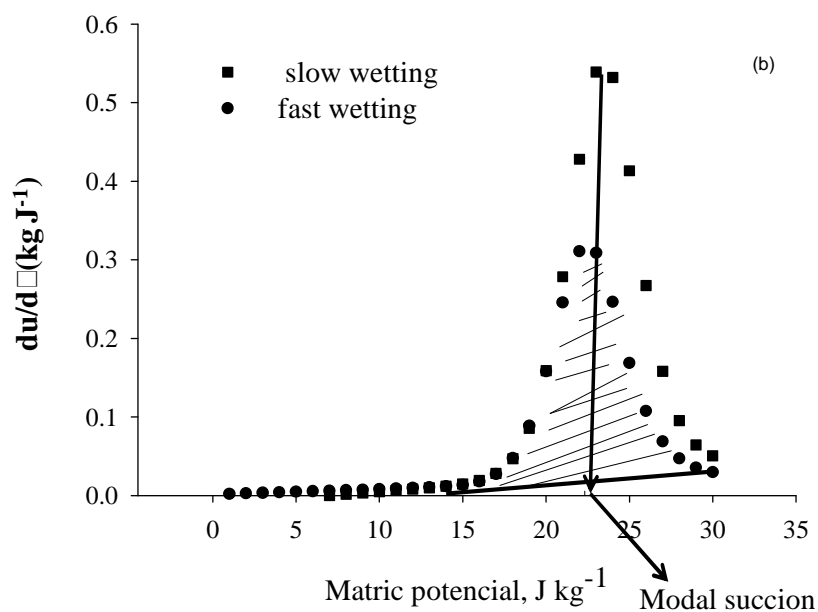


Figure 3. Schematic representation specific of the water capacity curves for fast and slow wetting.

The aggregate stability index (SI) for each wetting speed were calculated according to equation 3, proposed by Collis-George & Figueroa (1984).

$$SI = DPV/MS \quad (3)$$

The aggregate stability, represented by the stability ratio (SR) was calculated according to equation 4 as proposed by Pierson & Mulla (1989) used in the comparison of the resistance to aggregate slaking on a scale from 0 to 1.

$$SR = SI_{fast}/SI_{slow} \quad (4)$$

In order to study the water retention in the aggregate model proposed by van Genuchten (1980), with restriction $m = 1 - 1/n$ (Mualem, 1976),

the experimental data was adjusted according to equation 5 with the aid of the SWRC software.

$$U = (U_{sat} - U_{res})[1 + (\alpha\Psi)^n]^{1-1/n} + U_{res} \quad (5)$$

where U is the water content of the soil (g g^{-1}), Ψ soil water potential (kPa), U_{sat} the water content of the saturated sample (g g^{-1}); U_{res} water content (g g^{-1}) in the matric potential -3 kPa; n , α empirical parameters of model fit.

For pore quantification by diameter, we used the mathematical expression: $D = 4 s \cos \theta / \Psi$, where D is the pore diameter (mm); s the water surface tension (73.43 kPa mm at 20° C); θ the contact angle between the meniscus and the wall of the capillary tube (assumed to be 0) and Ψ the water tension in the soil (kPa), for each given potential.

The experimental design was completely randomized in a factorial design with the following study factors: management, depth, and wetting rate of the aggregates, establishing four levels for management, two levels for depth and two levels for the wetting rate, with three replicates ($n = 48$). The data were tested for normality using the Shapiro-Wilk test and premises verified. We conducted analysis of variance, and means were compared by the Scott Knott test and LSD at 5% probability, with the aid of the SISVAR program (Ferreira, 2011).

RESULTS AND DISCUSSION

The results of aggregate stability determined by the HEMC technique, expressed by the modal suction (MS), volume of drainable pores (DPV), slow and fast stability index (SI) and DPV and stability (SR) ratio values, are presented in Table 3.

Table 3. Indices of aggregate stability of Red Oxisol submitted to different management under coffee, obtained by the HEMC technique.

Management	MS		DPV		SI		DPV Ratio	SR
cm....		...g g ⁻¹g g ⁻¹ cm ⁻¹ ...			
	Fst ^{ns}	Slw ^{ns}	Fst [*]	Slw ^{ns}	Fst ^{ns}	Slw ^{***}		
0.05 m								
CV-0	23.1 a	24.0 a	0.164 b	0.358 a	0.007 a	0.015 b	0.458 a	0.466 a
G-0	24.9 a	18.1 a	0.245 ba	0.371 a	0.009 a	0.02 ab	0.660 a	0.450 a
G-7	14.2 a	9.9 a	0.369 ba	0.484 a	0.026 a	0.048 a	0.762 a	0.541 a
G-28	17.9 a	10.0 a	0.443 a	0.498 a	0.025 a	0.050 a	0.889 a	0.500 a
0.20 m								
CV-0	24.6 a	24.0 a	0.115 a	0.358 a	0.005 a	0.015 a	0.321 a	0.330 b
G-0	27.4 a	12.9 a	0.306 a	0.386 a	0.011 a	0.029 b	0.792 a	0.379 a
G-7	25.0 a	17.0 a	0.320 a	0.488 a	0.012 a	0.028 b	0.655 a	0.428 a
G-28	24.6 a	27.7 a	0.287 a	0.540 a	0.011 a	0.019 b	0.531 a	0.578 a

MS, modal suction; DPV = volume of drainable pores; SI, stability index; SR, stability rate; Fst, fast wetting; Slw, slow wetting; ns not significant; * significant $P < 0.05$; *** significant $P < 0.001$. Means followed by the same letter in the column do not differ by the LSD test ($P < 0.05$).

At the depth of 0.05 m a significant difference was observed between the managements for the DPV fast, especially the G-28 showing values significantly higher than the CV-0 (Table 3), indicating that management that uses inter-row *Brachiaria* and gypsum in high doses promotes the formation of more resistant aggregates. If the soil aggregates under management have increased stability under the fast wetting rate, presumably these are also resistant under heavy rains and tend to suffer less slaking. Moreover, management systems which promote the formation of aggregates that disintegrate quickly under the wetting rate tend to release fine sand and silt (Mamedov et al., 2007), particles that are more related to the clogging of pores, which conditions the decrease of soil permeability (Lado et al., 2004). Potential practical information arising from the above, is the ability to predict the formation of soil surface sealing using the HEMC technique.

In spite of the non-existence of significant differences among the systems for SR at a depth of 0.05 m, treatments G-7 and G -28 showed values above 0.5 (Table 3), which has been associated with adequate aggregate stability (Levy & Miller, 1997). It should be highlighted that stable aggregates exhibit tightly bound soil fractions, particularly due to the presence of organic carbon as a cementing agent, and they are rarely broken, and can provide the soil with good permeability and good water infiltration (Lado et al., 2004; Costa Júnior et al., 2012).

At a depth of 0.20 m there was significant difference among the managements for SR (Table 3). In the aggregate stability analysis by wet sieving (Yoder, 1936), in the same study site and under the same management systems, Silva et al. (2013) also found positive and higher results for management that uses *Brachiaria* compared to conventional management (CV-0).

Comparing treatments at different depths, in general there were, in absolute values, superior results for the SR in the surface layer. This likely

increased stability in the surface layer probably is associated with higher organic carbon content (Silva et al., 2013) and increased biological activity in this layer.

It should be noted that while maximum aggregate stability using the HEMC methodology is reached with the $SR = 1$ value, in the present study, SR values were between 0.33 and 0.58. The values found in this study are lower than those found by Avanzi et al. (2011), who found values were between 0.59 and 0.85 also using the HEMC technique in different soils under eucalypt plantations and native forest in the layer from 0 to 0.10 m.

Another objective of the study was to quantify the porosity inside aggregates, and for this water retention curves (WRC) were adjusted using the model of van Genuchten (Figure 3). The models adjusted adequately to the data, obtaining coefficients of determination (R^2) between 0.95 and 99.

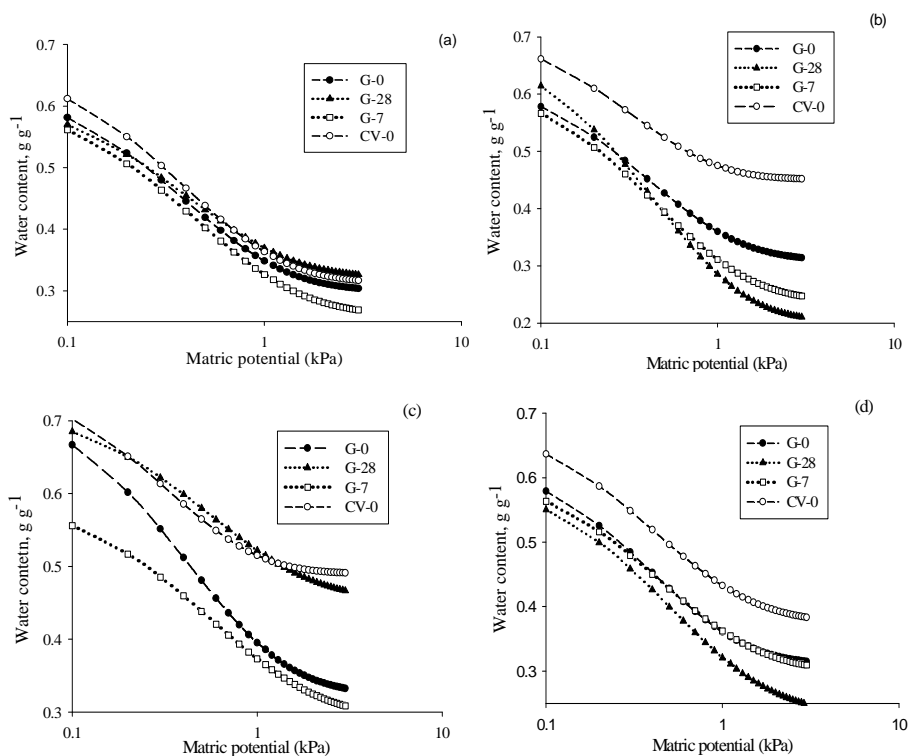


Figure 3. Water retention curves generated by the HEMC technique ($M = f(\Psi)$): (a) fast wetting [0.05 m], (b) slow wetting [0.05 m] (c) fast wetting [0.20m], (d) slow wetting [0.20 m].

The different management systems of soil under coffee altered shape of the LVD water retention curves (Figures a, b, c and d). This can be related to the variation in the content of organic matter observed in the different managements (Silva et al., 2013), that according to Araujo Junior et al. (2011), alter the shape parameters of the water retention curve (m and n) and, consequently, the pore-size distribution (Tables 4 and 5).

For the slow moisture condition, CV-0 was the system that conditioned a more differentiated water retention curve behavior, visually observing higher

water contents in matric potentials between 0 and -3 kPa (Figures b and d). However, when analyzing the MS values (Table 3) that are related to this behavior, no statistical difference was observed. In analysis of pore distribution by size, however, (Table 4) the presence of a higher volume of pores with diameter < 99 μm is observed. This behavior is possibly associated with aggregate slaking, that for being less resistant to this management system (Table 3) during the HEMC analysis, ruptured, contributing to higher wetting. Under the management conditions G0, G7 and G28, mainly due to the presence of inter-row *Brachiaria* that is regularly cut and the cuttings directed to the coffee row, the aggregates became more stable and with more continuous pores, which can be seen in the pore distribution by diameter (Table 4).

Table 4. Pore size distribution obtained by the fast/slow wetting methods for the depth of 0.05 m in different management systems.

Management	Pore diameter (μm) ***			
	> 599	599 -299	299-199	< 99
	Fast wetting (g g^{-1})			
CV-0	0.17 A	0.05 A	0.02 A	0.38 A
G-0	0.27 A	0.08 A	0.03 A	0.23 B
G-7	0.25 A	0.08 A	0.03 A	0.24 B
G-28	0.31 A	0.08 A	0.03 A	0.21 B
	Slow wetting (g g^{-1})			
CV-0	0.16 A	0.03 A	0.01 A	0.44 A
G-0	0.21 A	0.06 A	0.02 A	0.42 A
G-7	0.19 A	0.06 A	0.02 A	0.34 A
G-28	0.19 A	0.06 A	0.03 A	0.32 A

Means followed by the same uppercase letter in the column do not differ by the Scott Knott test 5% probability. *** significant ($P < 0.001$).

On submitting aggregates to the slow wetting rate it was not possible to detect differences among managements, due to the similarities detected in the pore diameter distribution (Tables 4 and 5). Moreover, through the WRC obtained with this wetting rate (Figures 3b and 3d), it can be observed that a descending order of water retention under Ψ -3 kPa with CV-0 > G-0 > G-7 > G-28 was established, and this sequence corresponds to the behavior expressed by DPV (Table 3). It is emphasized that the slower the aggregate wetting speed, the lower the impacts generated by the occupation of the water in the spaces of the aggregates, the pressure buildup inside the aggregate is lower, reducing the clay expansion rate and lowering the aggregate slaking (Lado et al., 2004).

Table 5. Pore size distribution obtained by the fast/slow wetting methods for a depth of 0.20 m in different management systems.

Management	Pore diameter (μm) ***			
	> 599	599 -299	299-199	< 99
	Fast wetting (g g^{-1})			
CV-0	0.17 B	0.06 A	0.02 A	0.49 A
G-0	0.28 A	0.08 A	0.03 A	0.33 B
G-7	0.20 B	0.07 A	0.03 A	0.29 B
G-28	0.21 B	0.07 A	0.03 A	0.36 B
	Slow wetting (g g^{-1})			
CV-0	0.24 A	0.06 A	0.02 A	0.38 A
G-0	0.26 A	0.08 A	0.03 A	0.25 A
G-7	0.23 A	0.07 A	0.03 A	0.24 A
G-28	0.22 A	0.06 A	0.02 A	0.30 A

Means followed by the same uppercase letter in the column do not differ by the Scott Knott test 5% probability. *** significant ($p < 0.001$).

In the G-7, the pore diameter distribution is more homogeneous (Figure 3), which can be observed in the smoothed slope of the curve, and this may be related to the aggregate size distribution and consequently the carbon storage

capacity, which is corroborated by Silva et al. (2013), as they observed that in this management, aggregates are smaller than those in the G-28 management. Costa Júnior et al. (2012) found that smaller aggregates have greater ability to absorb carbon. In this work it was found a positive ($r = 0.73$) and significant ($P < 0.01$) correlation between the stability index for fast wetting and soil exchangeable calcium content (Ca^{+2}). However, despite the Ca^{+2} ion promoting flocculation of the soil clay fraction, it is noteworthy that the Ca^{+2} , in high concentration, can displace Al^{+3} from the clay surface (initial condition), which can trigger dispersion in the clay fraction by the management (Serafim et al., 2012) and this may be occurring in the higher gypsum dose situation used.

Studies to better define the wetting rates for tropical soils are still lacking, since there are no studies that confirm that the maximum slaking value of these soils occurs when subjected to a rate of 100 mm h^{-1} . However the results already obtained point to the potential use of this technology.

CONCLUSIONS

1 - Soil management under coffee culture that uses additional gypsum coverage and inter-row *Brachiaria* cultivation presented a soil aggregate stability ratio higher than conventional management, particularly at the highest agricultural gypsum dosage.

2 - The soil subjected to conventional handling system presented a higher amount of smaller pores ($< 99 \mu\text{m}$).

3 - Through the adaptation of the HEMC technique, it was possible to obtain water retention curves from the van Genuchten model, and these proved suitable to support inter-aggregate pore distribution studies.

LITERATURE CITED

AVANZI, J.C.; NORTON, L.D.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A.H. & SILVA, M.A. Aggregate stability in soils cultivated with eucalyptus. *Pesq. Agropec. Bras.*, 46:89-96, 2011.

ARAUJO JUNIOR, C.F.; DIAS JUNIOR, M.S.; GUIMARÃES, P.T.C. & ALCÂNTARA, E.N. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:115-131, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CAFÉS ESPECIAIS - BSCA. Lista de verificação de sistemas de gestão sócio-ambiental. Anexo RA 0552.04, ver. 01. 2005.

CASALINHO, H. D.; MARTINS, S. R.; DA SILVA, J. B. & DA SILVA LOPES, Â. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. *R. Bras. Agric.*, 13:195-203, 2007.

COLLIS-GEORGE, N. & FIGUEROA, B.S. The use of soil moisture characteristics to assess soil stability. *Aust. J. Soil Res.*, 22:349–356, 1984.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação. Viçosa, 1999. 359p.

COSTA JUNIOR, C.; PÍCCOLO, M.C.; SIQUEIRA NETO, M.; CAMARGO, P.B.; CERRI, C.C. & BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob

vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 36:1311-1321, 2012.

CHILDS, E.C. The use of soil moisture characteristics in soil studies. Soil Sci, 50:239-252, 1940.

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

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ci. Agrotec., 35:1039-1042, 2011.

FIALHO, C.M.T.; SILVA, A.A.; FARIA, A.T.; TORRES, L.G.; ROCHA, P.R.R. & SANTOS, J.B. Teor foliar de nutrientes em plantas daninhas e de café cultivadas em competição. Planta Daninha, 30:65-73. 2012.

FIALHO, C. M. T.; FRANÇA, A. C.; TIRONI, S. P.; RONCHI, C. P. & SILVA, A. A. D. Interferência de plantas daninhas sobre o crescimento inicial de *Coffea arabica*. Planta Daninha, 29:137-148, 2011.

KONDO, M. K.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; WENDLING, B.; SILVA, P. B. D. & CARDOSO, M. M. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agronômicas do sorgo granífero. Biosci. J., 28:33-40, 2012.

LADO, M.; BENHUR, M. & SHAINBERG, I. Soil wetting and texture effects on aggregate stability, seal formation, and erosion. Soil Sci. Soc. Am. J., 68:1992-1999, 2004.

LEVY, G.J. & MAMEDOV, A.I. High energy moisture characteristic aggregate stability as a predictor for seal formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66:1603-1609, 2002.

LEVY, G.J. & MILLER, W.P. Aggregate stabilities of some Southeastern U.S. soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:1176-1182, 1997.

LIMA, V.M.P.; OLIVEIRA, G.C.; SERAFIM, M.E.; CURI, N. & EVANGELISTA, A.R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:71-78, 2012.

MAGALHÃES, E.N.; OLIVEIRA, G.C.; SEVERIANO, E.C.; COSTA, K.A.P. & CASTRO, M.B. Recuperação estrutural e produção de capim-tifton 85 em um Argissolo Vermelho-Amarelo compactado. *Ci. An. Bras.*, 10: 68-76, 2009.

MAMEDOV, A.I.; SHAINBERG, I. & LEVY, G.J. Wetting rate and sodicity effects on interrill erosion from semi-arid Israeli soils. *Soil Till. Res.*, 68:121-132, 2002.

MAMEDOV, A.I.; BECKMANN, S.; HUANG, C. & LEVY, G.J.. Aggregate stability as affected by polyacrylamide molecular weight, soil texture, and water quality. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 71:1909-1918, 2007.

MINAS GERAIS. Certifica Minas café - regulamento geral. 8ª revisão, Belo Horizonte, 11/12/2009. Disponível em: <http://intranet.ima.mg.gov.br/nova/gec/outros_documentos/Cafe/Regulamento%20certificaminascafe-versao8.pdf>. Acesso em 09 set. 2013.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Res. Res.*, 12:513-522, 1976.

PIERSON, F.B. & MULLA, D.J. An improved method for measuring aggregate stability of a weakly aggregated loessial soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:1825-1831, 1989.

RIBEIRO, B. T.; LIMA, J.M.; MELLO, C.R.; SÁ, M.A.C. & OLIVEIRA, G.O. Relationship between raindrops and ultrasonic energy on the disruption of a Haplic Cambisol. *Ci. Agrotec.*, 33:814-823, 2009.

SÁ, M.A.C.; LIMA, J.M.; SILVA, M.L.N. & DIAS JUNIOR, M.S. Comparação entre métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:1825-1834, 2000.

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; OLIVEIRA, A. S.; LIMA, J. M.; GUIMARÃES, P. T.G. & COSTA, J. C. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do alto São Francisco, MG: Um estudo de caso. *Biosci. J.*, 27:964-977, 2011.

SERAFIM, M. E.; DE LIMA, J. M.; LIMA, V. M. P.; ZEVIANI, W. M. & PESSONI, P. T. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. *Bragantia*, 71:75-81, 2012.

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M.; SILVA, B. M.; ZEVIANI, W. M. & LIMA, V.M.P. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 17: 362–370, 2013.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; COSTA, K.A.P.; CASTRO, M.B. & MAGALHÃES, E.N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 14:39-45, 2010.

SILVA, B.M.; OLIVEIRA, G.C.; SILVA, É.A.; OLIVEIRA, L.M. & SERAFIM, M.E. Índice S no diagnóstico da qualidade estrutural de Latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. Biosci. J., 28:338-345, 2012.

SILVA, E. A.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, C. E.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, L. M.; COSTA, J. C. Increasing doses of agricultural gypsum, aggregate stability and organic carbon in Cerrado Oxisol under coffee crop. R. Ci. Agrár., 56:25-32, 2013.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils and water quality. Soil Sci. Soc. Am. J., 44: 892-898, 1980.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. J. Am. Soc. Agric., 28:337-351, 1936.