

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM AMBIENTE  
TROPICAL**

**BRUNA PATRICY SOBRAL CONCEIÇÃO**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA**

**JUNHO - 2008**

**MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM AMBIENTE  
TROPICAL**

**BRUNA PATRICY SOBRAL CONCEIÇÃO**

Engenheira Agrônoma  
Universidade Estadual de Santa Cruz, 2005

Dissertação submetida à Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Ciência do Solo.

**Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. José Fernandes de Melo Filho**

**Co-Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Vital Pedro da Silva Paz**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2008

## FICHA CATALOGRÁFICA

C744 Conceição, Bruna Patricy Sobral.

Métodos para avaliação da qualidade do solo em ambiente tropical / Bruna Patricy Sobral Conceição, 2008. 54 f.; il.

Orientador: Prof. Dr. José Fernandes de Melo Filho

Co-orientador: Prof. Dr. Vital Pedro da Silva Paz

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, 2008.

1. Solo – Métodos de Karlen e Sttot. 2. Solo – Método Dexter. 3. Solo – qualidade física I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II. Título

CDD 631.4

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DA ALUNA  
BRUNA PATRICY SOBRAL CONCEIÇÃO**

---

Prof. D.Sc. José Fernandes de Melo Filho  
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas - UFRB  
(Orientador)

---

Prof. PhD. Áureo Silva de Oliveira  
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas - UFRB

---

Prof. D.Sc. Antenor de Oliveira Aguiar Netto  
Departamento de Engenharia Agrônômica - UFS

Dissertação homologada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Agrárias em.....  
Conferindo o Grau de Mestre em Ciências Agrárias em.....

*“O coração do homem  
planeja o seu caminho, mas o  
Senhor lhe dirige os passos.”*

**Provérbios 16:9**

Ao meu avô Bartolomeu Souza Sobral (*“in memoriam”*) por tudo que vivi e aprendi em sua companhia.

**DEDICO**

Aos meus pais **Carlos** e **Ivanete** e às minhas irmãs **Larissa** e **Giulia** pela família que somos.

**OFEREÇO**

## **Agradecimentos**

À Deus, por todas as graças recebidas e pela Sua fidelidade e cuidado comigo.

Ao Dr. José Fernandes de Melo Filho, pela orientação e confiança no desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e ao Programa e Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pela oportunidade de obter o título de mestre.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela concessão da bolsa.

Ao Núcleo de Engenharia de Água e Solo, EBDA e EMBRAPA Mandioca e Fruticultura pelo apoio na realização das análises.

À Fazenda Cultrosa pela disponibilização da área para o estudo e pelo apoio em campo.

Aos bolsistas de iniciação científica José Augusto e Fernanda pela valiosa ajuda na realização deste trabalho.

À minha família, pela presença constante e pelo apoio em todas as fases da minha vida.

À minha Tia Ivany, pela “mãe” que é para mim.

Aos amigos da graduação Vicente, Patricia, Thyane, Rogério, Thiago, Lorena e Magnobaldo (Meg), pelos anos de convívio e amizade, especialmente a Lorena, Thyane e Patricia por me acompanhar nesta etapa.

Aos amigos que ficaram longe, mas sempre torcendo por mim.

À Silas por todo carinho, compreensão e apoio.

Ao professor Vital Paz, pelo incentivo e amizade.

Às colegas do curso de mestrado Vó Rose, Fábria, Adriana, Lícia e Graça pelos estudos em grupo e companheirismo.

Aos amigos Tatus (Valéria, Daniel e Márcio), pelos grandes momentos que vivemos e pela amizade dedicada.

Aos colegas Vidal e Dário, pelas experiências trocadas e pela amizade.

Ao professor Dr. Joelito de Oliveira Rezende, pelas inesquecíveis aulas de física do solo, e pela disponibilidade sempre que precisei.

Aos amigos Dija, Cau, Vô e Vó (Clóvis e Zeni) por todo cuidado e amizade.

Aos novos amigos e irmãos em Cristo que foram de grande importância para a realização deste trabalho.

Ao Pastor Josias e à irmã Ruth pelo carinho e atenção.

E a todos os que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

*Muito obrigada!*



## SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO.....	01
Capítulo 1	
COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM AMBIENTE TROPICAL.....	10
Capítulo 2	
AVALIAÇÃO DE UM MÉTODO RÁPIDO PARA DETERMINAÇÃO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO.....	40
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58

## **MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM AMBIENTE TROPICAL**

Autora: Bruna Patricy Sobral Conceição

Orientador: D.Sc. José Fernandes de Melo Filho

Co-Orientador: D.Sc. Vital Pedro da Silva Paz

**RESUMO:** O solo é um importante componente do sistema ambiental onde funciona como meio para sustentação e crescimento vegetal e regulador do fluxo água e energia. Sua capacidade para funcionar no desempenho dessas funções define o seu grau de qualidade, a qual pode ser avaliada por diversas metodologias. Este trabalho teve como objetivos: a) avaliar os métodos de Karlen & Stott (1994) e Dexter (2004) para a determinação da qualidade física do solo e, b) avaliar o método de elaboração da curva de retenção de água no solo com o psicrômetro WP4 e sua utilidade para determinação do índice S de qualidade física do solo. Amostras de solo foram coletadas em três sistemas de uso e manejo na profundidade: mata nativa e sistemas consorciados de café + coco e cacau + seringueira, nos quais foram avaliados os seguintes indicadores de qualidade: porosidade total, macro e microporosidade; densidade do solo; retenção de água; condutividade hidráulica no solo saturado; pH; capacidade de troca catiônica; saturação por bases; saturação por alumínio; matéria orgânica e resistência à penetração. Os resultados mostram que os métodos estudados foram coerentes e sensíveis em identificar as alterações no solo em decorrência do uso e manejo. Verificou-se também que o método de elaboração da curva de retenção da água no solo com o psicrômetro WP4 altera a forma e os parâmetros de ajuste relativos à equação de van Genuchten podendo subestimar atributos e índices de qualidade do solo associados à mesma.

**Palavras-chave:** Qualidade do solo, retenção de água, sustentabilidade.

# **METHODS TO EVALUATE THE SOIL QUALITY IN A TROPICAL ENVIRONMENT**

Author: Bruna Patricy sobral Conceição

Adviser: DSc. José Fernandes de Melo Filho

Co-Adviser: D.Sc. Vital Pedro da Silva Paz

**ABSTRACT:** The soil is an important component of an environmental system, where it works as a substrate for plant growth, and regulate the water flow and energy. The soil ability to provide all these functions defines the level of its quality, which can be assessed by various methods. This work aimed: a) to assess the methods proposed by Karlen & Stott (1994) and by Dexter (2004) to evaluate the soil physical quality, and b) to evaluate the elaboration method of the soil-water retention curve by a psychrometer WP4 and their usefulness for determinating the index S of soil physical quality. Soil samples were collected in three management systems: native forest and intercropping systems of coffee + coconut and cocoa + rubber, which were assessed in the following quality indicators: total porosity, macro and micro porosity; soil density; water retention; saturated soil hydraulic conductivity; pH; cation exchange capacity; base saturation; aluminum saturation; organic matter and soil penetration resistance. The results showed that the studied methods were coherent and sensitive in identifying changes in the soil due to the use and management. The method to elaborate the soil-water retention curve by the psychrometer WP4 change the shape and the fitting parameters of van Genuchten equation, and may underestimate attributes and soil quality indeces associated with it.

**Key words:** Soil quality, water retention, sustainability.

## **INTRODUÇÃO**

O solo é um recurso natural essencial para o funcionamento do ecossistema terrestre. Como um sistema natural dinâmico, regula o balanço global de energia, e serve como meio para o crescimento vegetal, disponibilizando água, nutrientes e oxigênio às plantas. Também atua na regulação hídrica do ambiente, transformação e degradação de compostos poluentes. Sua capacidade para funcionar no desempenho dessas funções é referida como “qualidade do solo” (LARSON e PIERCE, 1991; DORAN e PARKIN, 1994; DORAN et. al. 1996), a qual, em seu conceito mais abrangente, pode ser definida como “a capacidade de um tipo específico de solo funcionar nos limites de um ecossistema natural ou manejado, mantendo a produtividade animal e vegetal, a qualidade do ar e da água, promovendo a saúde humana e condições para habitação” (KARLEN et al., 1997).

Quantificar a qualidade do solo não é tarefa fácil. Esta dificuldade existe devido ao fato de que a mesma depende de suas propriedades intrínsecas, de suas interações com o ecossistema e, ainda, de prioridades de uso influenciadas, por aspectos socioeconômicos e políticos (COSTA et al., 2006).

Uma estratégia comumente sugerida consiste na utilização de indicadores agrupados em um índice. O índice constitui uma ferramenta para agregação e simplificação de informações de natureza diversa (SANDS e PODMORE, 2000). Também podem ser úteis para o monitoramento do estado geral do solo e para a identificação de práticas de manejo mais adequadas, constituindo-se em uma ferramenta para buscar soluções técnicas que atuem diretamente nos atributos do solo que influenciam negativamente no índice de qualidade. Uma vez bem definidos, os índices podem ser ainda utilizados para o monitoramento da qualidade do solo em programas de recuperação de áreas degradadas, para orientar legislações e políticas relacionadas à ocupação do solo, além de servir como um método de fiscalização/orientação de programas e políticas agrícolas e no estabelecimento de um referencial para valoração da terra (CHAER, 2001).

Para a avaliação da qualidade do solo existem diversas proposições metodológicas. Algumas consideram que um número reduzido de atributos pode expressar eficientemente a qualidade do solo. Neste caso, Gregorich et al. (1994), Doran e Parkin, (1994) e Mielniczuk (1999) sugerem que a matéria orgânica apresenta potencial para ser usada como atributo chave para avaliar a qualidade do solo, pois além de ser um indicador sensível a modificações pelo manejo, é fonte primária de nutrientes para as plantas, atua na estruturação das partículas minerais do solo, influencia a infiltração, retenção de água e ciclagem de nutrientes.

Para Santana e Bahia Filho (1998), a avaliação da qualidade do solo pode ser realizada pelo monitoramento de seus atributos ou características físicas, químicas e biológicas. Aplicando este conceito, Costa et al. (2006) organizaram modelos gráficos do tipo radial, para comparar e avaliar a qualidade do solo, de forma integrada. Concluíram que a adoção desses modelos gráficos radiais constitui-se em instrumento útil para a visualização comparativa da qualidade entre solos.

Karmanov e Friyev (1982) desenvolveram índices ecológicos do solo baseados em atributos como: incidência de luz, temperatura, disponibilidade de água, retenção de água, drenagem, densidade do solo, salinização, acidez e toxidez. Os valores encontrados possibilitaram uma análise quantitativa e comparativa entre os solos, sendo que os menores índices foram relacionados a solos degradados. Nessa mesma linha, Garlynd et al. (1994) e Romig et al. (1995), descreveram um questionário com um sistema de notas para avaliação preliminar da qualidade do solo no campo, envolvendo os seguintes atributos: presença de minhocas, erosão, estrutura, cor úmida, compactação e infiltração. Segundo Garlynd et al. (1994), experimentos utilizando este método mostram que a maior qualidade do solo é encontrada quando o mesmo apresenta: maior nível de resíduos em decomposição e atividade de minhocas; altos valores de condutividade hidráulica saturada e macroporosidade; e altos níveis de atividades enzimáticas e elevadas taxas de biomassa microbiana.

Tendo como base a análise visual, Melloni (2001) propõe uma planilha de avaliação *in situ* para os atributos de solo e vegetação, objetivando o cálculo de um índice de qualidade de solos. As notas variam de 0 (pior) a 5 (melhor) e são atribuídas à: presença de erosão, pedregosidade, macrofauna do solo, índice de cobertura vegetal, diversidade de espécies, porte/estratificação, vigor da vegetação,

presença de serapilheira, estado de decomposição da serapilheira, incorporação da serapilheira no solo e fauna silvestre. O autor observou grandes variações entre solos recém-minerados e aqueles revegetados em processo de recuperação; confirmando a sensibilidade do método.

Com o objetivo de avaliar a qualidade do solo a partir de indicadores e índices capazes de considerar a biota do solo, Schmitz et al. (2006) propõem um índice biológico da qualidade do solo, criado a partir da junção de sete indicadores biológicos (biomassa microbiana, respiração microbiana e atividades de  $\beta$ -glucosidase, urease, amidase, fosfatase ácida e arilsulfatase), os quais tiveram sua eficiência pelas altas correlações verificadas entre estes indicadores e indicadores de qualidade química, física e também produtividade do solo. Neste método, a partir dos percentuais obtidos para cada tratamento e cada indicador é calculado o índice biológico de qualidade do solo. Segundo os autores, a avaliação conjunta desses indicadores na forma de um índice, mostra-se adequada para a quantificação da qualidade do solo em termos biológicos.

Maior destaque é dado às proposições metodológicas quantitativas e que consideram a integração de um conjunto de indicadores de natureza química, física e biológica para obtenção de um índice confiável (DORAN e PARKIN, 1994; KARLEN e STOTT, 1994). Nesta linha de proposições, Karlen e Stott (1994) desenvolveram um índice quantitativo para avaliar a qualidade do solo, a partir de indicadores químicos, físicos e biológicos. Diversos trabalhos foram realizados utilizando esta metodologia (HUSSAIN et al., 1999; GLOVER et al., 2000; CHAER, 2001; SOUZA et al., 2003; SOUZA, 2005; MENEZES, 2005; DIAS, 2006; SILVEIRA, 2007). Todos concluíram que se trata de uma ferramenta prática e adequada para identificar funções principais e indicadores limitantes, orientando intervenções técnicas visando melhorá-los e, portanto, precisa e deve ser adequadamente testada e difundida para uso nas avaliações relativas ao manejo sustentável dos solos em regiões tropicais.

Outro modelo para avaliação da qualidade do solo foi proposto por Dexter (2004). Sua proposição baseia-se na determinação da declividade (S) no ponto de inflexão da curva de retenção da água no solo. Segundo o autor, um aumento nos valores da declividade indica ampla distribuição de poros no solo, a qual está relacionada às condições estruturais favoráveis e que estabelecem o “adequado

funcionamento físico do solo”. Assim, fatores relacionados ao solo como a textura e a estrutura ou ao manejo como a matéria orgânica e sistemas de preparo, que influenciam a distribuição de poros por tamanho, resultam em alterações nos valores de S, e, conseqüentemente, na qualidade física do solo. Dexter (2004) estabeleceu que o limite a partir do qual o solo apresenta boa qualidade ocorre para valores de S igual ou superior a 0,035. Em suas experiências de campo com diferentes tipos de solo verificou também que valores de  $S < 0,020$  estão claramente associados a solos com condições físicas muito ruins. No Brasil, Silva (2004), Tormena e Silva (2004) e Fidalski e Tormena (2007) discutiram, aplicaram e avaliaram o método de Dexter (2004). Confirmaram as afirmações do autor e concluíram que, o índice S é eficiente para detectar diferenças na qualidade estrutural dos solos.

Em uma linha conceitual biológica, Conceição et al. (2005) sugerem a utilização dos teores de Carbono Orgânico Total (COT) e o Nitrogênio Total (NT) associados à fração mineral do solo como um índice integrador da sua qualidade. Esses autores justificam sua proposta com base nos efeitos positivos da matéria orgânica para o sistema solo. A matéria orgânica além de satisfazer o requisito básico de ser sensível a modificações pelo manejo do solo é ainda fonte primária de nutrientes às plantas, influenciando a infiltração, retenção de água e suscetibilidade do solo à erosão (GREGORICH et al., 1994). Os resultados obtidos evidenciaram uma elevada sensibilidade da fração particulada da matéria orgânica do solo em discriminar sistemas de manejo, sendo sensível em detectar os impactos decorrentes do uso agrícola. Passos et al. (2007) também estudaram formas de carbono orgânico e nitrogênio em diferentes classes de agregados. Neste estudo, verificaram que, tanto os teores de carbono orgânico quanto a qualidade da matéria orgânica foram influenciados pelo manejo do solo. Segundo Freixo et al. (2002), a fração da matéria orgânica presente entre microagregados do solo constitui o compartimento orgânico mais sensível à degradação do solo pelo cultivo, podendo ser utilizada como um indicador precoce do declínio da matéria orgânica do solo.

Em virtude da grande quantidade de métodos para estimar e quantificar a qualidade do solo é recomendável o conhecimento e o aperfeiçoamento dos mesmos visando sua aplicação para a avaliação dos solos de regiões tropicais. Dessa forma, este estudo teve dois objetivos: a) avaliar dois métodos para avaliação da qualidade do solo e, b) avaliar o método de elaboração da curva de retenção de

água no solo com o psicrômetro WP4 e sua utilidade para a determinação do índice S de qualidade física do solo.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAER, G. M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001, 90p.

CONCEIÇÃO, P.C.; et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliado pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.777 – 788, 2005.

COSTA, E. A.; et al. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1185-1191, 2006.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma** v.120, p.201-214, 2004.

DIAS, R.C.S. **Qualidade do solo e desenvolvimento radicular de citros em Latossolo Amarelo Coeso sob diferentes sistemas de manejo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas, BA, 2006, 90p.

DORAN, J. W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America/ American Society of Agronomy, 1994. p.3-21. (SSSA Special Publication, 35).

DORAN, J.W. et al. Soil health and sustainability . In: Sparks, D.L. (Ed.), **Advances in Agronomy**, San Diego, CA, v.56, p.1-54, 1996.



FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A. Homogeneidade da qualidade física do solo nas entrelinhas de um pomar de laranja com sistemas de manejo da vegetação permanente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.637-645, 2007.

FREIXO, A.A. et al. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.425-434, 2002.

GARLYND, M. et al. Descriptive and analytical characterization of soil quality/health. In: DORAN, J. W. et al. eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America/ American Society of Agronomy, 1994. p.3-21. (SSSA Special Publication, 35).

GLOVER, J.D. et al. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.80, p.29-45, 2000.

GREGORICH, E.G. et al. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soil. **Canadian Journal of Soil Science**, v.74, p.367-385, 1994.

HUSSAIN, I. et al. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. **Soil & Tillage Research**. v.50, p.237-249, 1999.

KARLEN, D.L.; STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W. et al. eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, 1994. p.53-71. (SSSA Spec. Publ. No. 35)

KARLEN, D. L. et al. Soil quality: a concept definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.4-10, 1997.

KARMANOV, I. I.; FRIYEV, T. A. Site quality on ecological soil indices. **Soil Survey and Land Evaluation**, v.5, p.40-48, 1982.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. In: INTERNATIONAL BOARD FOR SOIL RESEARCH AND MANAGEMENT, 12., 1991, Bangkok. **Proceedings...** Bangkok: [s.e.], v.2, 1991.

MENEZES, A. A. **Produtividade do eucalipto e a sua relação com a qualidade e a classe do solo**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005, 100p.

MIELNICZUK, J. Manejo do solo no Rio Grande do Sul: Uma síntese histórica. **Revista da Agronomia**, v.12, p.11-22, 1999.

MELLONI, R. **Densidade e diversidade de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares em solos de mineração de bauxita**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2001, 173p.

PASSOS, R.R. et al. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1109-1118, 2007.

ROMIG, D.E. et al. How farmers assess soil health and quality. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.50, p.229-236, 1995.

SANDS, G.R.; PODMORE, T.H. A generalized environmental sustainability index for agricultural system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v.79, p.29-41. 2000.

SANTANA, D.P.; BAHIA FILHO, A.F.C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: **WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE**, 16., 1998, Montpellier. Montpellier: ISSS, 1998. CD-ROM.

SCHMITZ, J.A.K. et al. Índice biológico para avaliação da qualidade de solo sob diferentes manejos de cobertura vegetal. Resumo do I Congresso Brasileiro de Agroecologia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.1, p.1, 2006.

SILVA, A.P. Interação manejo x física. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: SBCS, 2004. CD-ROM.

SILVEIRA, E.C.P. **Qualidade do solo em dois sistemas de uso e manejo no ambiente dos tabuleiros costeiros do Recôncavo Baiano**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2007, 99p.

SOUZA, L. da S. et al. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo sob o enfoque de produção vegetal: estudo de caso para citros em solos coesos de tabuleiros costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP, SBCS. CD-ROM.

SOUZA, A. L. V. **Avaliação da qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2005, 95p.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Avaliação da qualidade física de um solo utilizando o parâmetro S. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15. 2004. **Anais...** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. CD – ROM

## **CAPÍTULO 1**

### **AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM AMBIENTE TROPICAL**

---

<sup>1</sup> Artigo ajustado e submetido ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Brasileira de Ciência do Solo

## **AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA A DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO EM AMBIENTE TROPICAL**

**RESUMO:** O solo é um recurso natural essencial para o funcionamento do ecossistema terrestre. Sua capacidade para funcionar no desempenho das suas diversas funções dentro dos limites do ecossistema e interagir positivamente com este é definida como qualidade do solo. É também considerada como uma forma sensível e dinâmica para registrar as condições do solo, sua resposta ao manejo ou sua resistência ao estresse imposto por forças naturais ou uso pelo homem. Neste sentido, muitas metodologias têm sido propostas para o monitoramento e avaliação da qualidade dos solos. Dentre estas, destacam-se as que consideram a necessidade de um conjunto numeroso de atributos do solo para a obtenção de um índice confiável de qualidade. Em oposição, existem aquelas que consideram que um número reduzido ou isolado de atributos-chaves possa expressar eficientemente a qualidade do solo para um uso específico. A aplicação delas em ambiente tropical ainda é bastante limitada, sendo necessário a realização de estudos e avaliações que possam validar sua utilidade nestas condições. O objetivo do presente trabalho foi avaliar dois métodos para avaliação da qualidade do solo. Para tanto, avaliaram-se os seguintes indicadores: porosidade total, macro e microporosidade; densidade do solo; retenção de água; condutividade hidráulica no solo saturado; pH; capacidade de troca catiônica; saturação por bases; saturação por alumínio; matéria orgânica e resistência à penetração; e aplicaram-se os métodos propostos por Karlen & Stott (1994) e Dexter (2004) em três sistemas de manejo: mata nativa (MN), consórcio café + coco (CC), e consórcio cacau + seringueira (CS). Os métodos testados apresentaram concordância de resultados e podem ser utilizados conjuntamente em sistemas de monitoramento da qualidade do solo para aumentar a dimensão da avaliação e conferir maior grau de precisão ao resultado final.

**Palavras-chave:** Qualidade do solo, sistemas de manejo, métodos de avaliação.

## **EVALUATION OF METHODS TO DETERMINE THE SOIL QUALITY IN A TROPICAL ENVIRONMENT**

**ABSTRACT:** The soil is a natural resource essential to the functioning of terrestrial ecosystem. The ability of the soil to work in its various functions within the limits of the ecosystem and interact positively with it is defined as "soil quality." It is also considered as a sensitive and dynamic way to record the soil conditions, their responses to the management or their resistance to stress imposed by natural forces or use by human. In this sense, many methods have been proposed for monitoring and evaluating the soil quality all over the world. The most accepted are those which require a numerous quantity of physical, chemical and biological indicators to obtain a reliable soil quality index. In contrast, there are some methodologies that consider that a reduced number of indicators and main factors can effectively evaluate the quality index to some specific usages. The use of those in a tropical environment is very limited, so, evaluations are required to test them in these conditions. The purpose of this paper was to assess two methods to evaluate the soil quality. They were assessed in the following quality indicators: total porosity, macro and micro porosity; soil density; water retention; saturated soil hydraulic conductivity; pH; cation exchange capacity; base saturation; aluminum saturation; organic matter and soil penetration resistance; and the methods proposed by Karlen e Stott (1994) and by Dexter (2004) were applied in three management systems: native forest (NF), coffee + coconut intercropping (CC), and cocoa + rubber intercropping (CR). The methods tested showed concordance of results and can be used together in systems for evaluating of the soil quality to increase the extent of the assessment and give greater degree of accuracy to the final results.

**Key words:** Soil quality, management systems, assessments methods.

## INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural essencial para o funcionamento do ecossistema terrestre. Como um sistema dinâmico, regula o fluxo de água e o balanço global de energia. Serve como meio para o crescimento vegetal, disponibilizando água, nutrientes e oxigênio para as plantas. Também atua na regulação hídrica do ambiente e na transformação e degradação de compostos poluentes. Sua capacidade para funcionar no desempenho dessas funções é referida como “qualidade do solo” (Larson & Pierce, 1991; Doran & Parkin, 1994; Doran et. al., 1996).

Quantificar a qualidade do solo não é tarefa fácil. Esta dificuldade advém do fato de que a mesma é afetada por uma série de fatores relativos ao próprio solo e ao ambiente (Costa et al., 2006). Por isto, existem diferentes metodologias para a avaliação da qualidade do solo, algumas qualitativas, outras quantitativas (Gregorich et al., 1994; Doran & Parkin, 1994; Karlen & Stott, 1994; Mielniczuk, 1999; Sands & Podmore, 2000).

Doran & Parkin (1994) e Mielniczuk (1999) sugerem que a matéria orgânica apresenta potencial para ser usada como atributo chave para avaliar a qualidade do solo, pois, além de ser um indicador sensível a modificações pelo manejo, é fonte primária de nutrientes para as plantas, influencia a infiltração e a retenção de água e atua na estruturação do solo e na ciclagem de nutrientes. Nesta linha conceitual, Conceição et al. (2005) sugerem a utilização dos teores de Carbono Orgânico Total (COT) e o Nitrogênio Total (NT) associados à fração mineral do solo como um índice integrador da qualidade. Esses autores justificam sua proposta com base nos efeitos positivos da matéria orgânica para o sistema solo, conforme registrado por Gregorich et al. (1994).

Dexter (2004) considera que a curva de retenção de água no solo tem potencial para ser utilizada como indicador da qualidade física do solo em sistemas de uso e manejo que alterem mais drasticamente a distribuição de poros por tamanho. Com base neste argumento, Dexter (2004) propôs o índice “S”, que corresponde à inclinação da curva de retenção no seu ponto de inflexão, como um índice de qualidade física do solo, o qual tem se mostrado eficiente para detectar diferenças na qualidade estrutural do solo em função do manejo. Silva

(2004), Tormena & Silva (2004) e Fidalski & Tormena (2007); confirmaram a validade do índice S e sugerem a necessidade de realização de estudos em diferentes solos e sistemas de manejo para avaliar e validar o S como índice de qualidade física do solo.

Tendo como base a integração de um conjunto de indicadores de natureza química, física e biológica para obtenção de um índice confiável, Karlen & Stott (1994) desenvolveram um índice quantitativo para avaliar a qualidade do solo. Diversos trabalhos foram realizados utilizando esta metodologia (Hussain et al., 1999; Glover et al., 2000; Chaer, 2001; Souza et al., 2003; Menezes, 2005; Souza, 2005; Dias, 2006; Melo Filho et al., 2007; Silveira, 2007). Todos concluíram que se trata de uma ferramenta prática e adequada para identificar funções principais e indicadores limitantes ao desenvolvimento vegetal, orientando intervenções técnicas visando melhorá-los e, portanto, precisa ser adequadamente testada e difundida para uso nas avaliações relativas ao manejo sustentável dos solos em ambiente tropical.

O presente estudo teve como objetivo avaliar dois métodos para determinação da qualidade do solo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Descrição da área de estudo**

O estudo foi realizado na Fazenda Cultrosa, situada no km 221 da rodovia Ituberá – Camamú, no município de Camamú – Bahia. No local o clima apresenta-se úmido a semi-úmido, com temperatura média de 24,4°C e pluviosidade média anual de 2.486,6 mm; a vegetação natural é do tipo floresta ombrófila densa e formações pioneiras com influências fluviomarinhas (SEI, 2007). Para o estudo foram selecionadas três áreas (Figura 1). Área 1: mata nativa (MN), pertencente a reserva legal da fazenda; área 2: sistema consorciado de café + coco (CC), com 7 anos de implantação e tratamentos culturais anuais que envolvem adubações químicas anuais com NPK e orgânicas, roçagem manual e química, podas e desbrota, e área 3: sistema consorciado de cacau + seringueira (CS) no qual, o seringal foi implantado em 1968 e o cacau em 1988. Os tratamentos



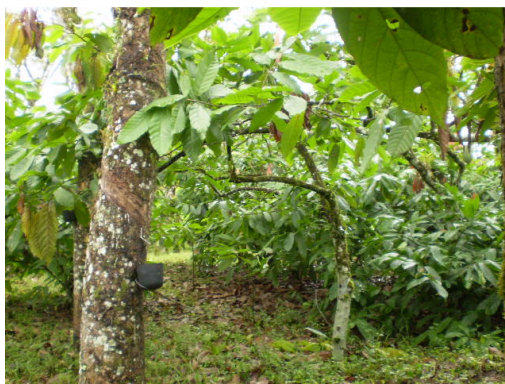
culturais dessa área são anuais e envolvem adubações químicas anuais com NPK, roçagem química e manual, e podas do cacauero. A colheita e a retirada dos produtos é totalmente manual nos dois sistemas consorciados.



(a)



(b)



(c)

**Figura 1. Áreas de coleta das amostras de solo para o estudo: (a) Mata Nativa (MN); (b) Consórcio café + coco (CC); (c) Consórcio cacau + seringueira (CS). Fazenda Cultrosa, Camamú – BA., 2007.**

### **Amostragem e solo**

As amostras de solo foram coletadas em um transecto medindo 24 metros de comprimento, com pontos de coleta espaçados a cada 12 metros. Em cada ponto foram coletadas amostras, deformadas e indeformadas, na profundidade (0 a 0,2 m). As amostras indeformadas foram coletadas com trado tipo Uhland (Bravifer) e as deformadas com o auxílio de um cavador.

Para caracterização e descrição dos solos, em cada sistema estudado, também foram abertas trincheiras conforme Lemos & Santos (2002). No sistema

mata nativa (MN) o solo foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico plíntico; e nos sistemas consorciados café + coco (CC) e cacau + seringueira (CS) foi classificado como Plintossolo Háptico Alumínico petroplíntico.

A caracterização textural para a camada superficial do solo, nos três sistemas de uso e manejo estudados, encontra-se no quadro 1.

**Quadro 1. Caracterização textural para a camada superficial do solo (0 - 0,2 m) sob três sistemas de uso e manejo**

Sistema de manejo	Areia	Silte	Argila	Classe textural
	g kg <sup>-1</sup>			
Mata nativa (MN)	225,80	323,40	450,80	Argilosa
Café + coco (CC)	450,50	205,90	343,60	Franco argilo arenosa
Cacau + seringueira (CS)	309,00	285,10	405,90	Argilosa

### Indicadores e métodos de avaliação

Foram avaliados os seguintes indicadores de qualidade do solo e seus respectivos métodos: porosidade total, macro e micro e densidade do solo (Embrapa, 1997); retenção de água em câmaras de pressão de Richards (Kiehl, 1979); condutividade hidráulica no solo saturado pelo método do permeâmetro de carga decrescente (Libardi, 2000); pH, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e saturação por alumínio (Embrapa, 1997); e matéria orgânica (Walkley & Black, 1937), descrito em Raji & Quaggio (1983). A resistência a penetração (RP<sub>100kPa</sub>) foi obtida em um penetrorômetro estático de laboratório modelo MA-933. Para tanto, uma amostra indeformada, de cada sistema de uso e manejo, foi saturada por 24 horas e depois submetida à tensão de 100 kPa em câmaras de pressão de Richards (Kiehl, 1979); após atingir o equilíbrio foi submetida ao teste de resistência a penetração no penetrorômetro.

### Método de Karlen & Stott (1994)

O modelo de avaliação da qualidade do solo proposto por Karlen & Stott (1994) constitui-se de um sistema aditivo que usa uma série de funções e

indicadores pré-selecionados de acordo com o objetivo da avaliação. A cada função são atribuídos pesos numéricos de acordo com o grau de importância da mesma para o funcionamento do solo no desempenho da função para a qual o índice será calculado. Posteriormente, são integradas conforme a seguinte expressão:

$$IQS = \sum qWi (wt) \quad (1)$$

sendo, IQS - índice de qualidade do solo; qWi - valor para as funções principais que compõe o índice; wt - peso numérico atribuído para cada função na composição do índice geral de qualidade. O somatório dos pesos de todas as funções principais deve resultar no máximo em 1,0 (um). Esse é o valor do IQS para um solo ideal em relação ao objetivo considerado, sendo 0,5 o limite crítico entre a boa e a má qualidade. Souza (2005) propõe a subdivisão dessa escala de avaliação proposta por Karlen & Stott (1994), sugerindo que a gradação para o IQS seja a seguinte: IQS  $\leq$  0,500 baixa; IQS entre 0,510 a 0,700 média; IQS  $\geq$  0,710 alta qualidade, critério que será utilizado nesta avaliação.

Assim como para as funções principais, pesos numéricos também devem ser atribuídos aos indicadores. Da mesma forma, o somatório geral dos pesos dos indicadores em cada nível deve ser 1,0 (um). Identificadas as funções principais, seus indicadores e respectivos pesos, cujos valores são multiplicados, é necessário normalizar os valores em uma escala única, também entre 0 e 1,0. O mecanismo utilizado é uma função para padronização de escores que foi desenvolvida para sistemas de engenharia por Wymore em 1993 (Glover et al., 2000), a qual tem a seguinte expressão:

$$v = \frac{1}{1 + ((B-L)/(x-L))^{2S} (B+x-2L)} \quad (2)$$

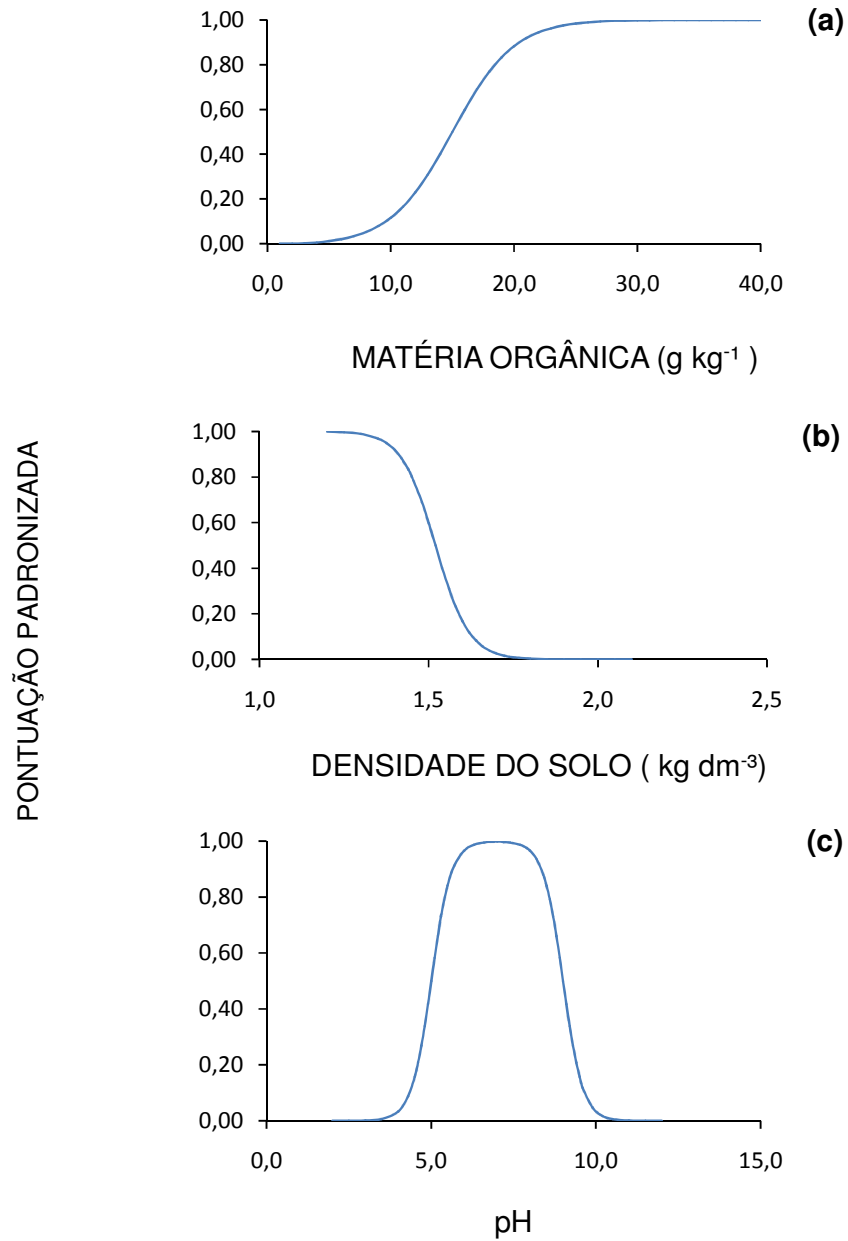
sendo:  $v$  - pontuação padronizada;  $B$  - valor crítico do indicador, cujo escore padronizado deve ser sempre 0,5, e que estabelece o limite entre a boa ou má qualidade do solo;  $L$  - valor inicial ou mais baixo que o indicador possa expressar, podendo receber o valor de 0 (zero);  $S$  - inclinação da tangente à curva no ponto

correspondente ao valor crítico do indicador;  $x$  - valor da propriedade ou indicador medido no campo.

Com as funções de padronização de escores são geradas três funções típicas de padronização: (1) “Mais é melhor”, (2) “Valor ótimo” e (3) “Menos é melhor” (Figura 2). Para a padronização dos indicadores são utilizados dois valores limites, superior e inferior, e um valor crítico. Os valores limites superiores são valores dos indicadores de qualidade onde a função de pontuação equivale a 1 (um), quando a propriedade do solo medida está em nível ótimo. Os valores limites inferiores são valores dos indicadores de qualidade onde a função de pontuação equivale a 0 (zero), quando a propriedade do solo está em nível inaceitável. O valor crítico é aquele no qual a função de pontuação é igual a 0,5 e equivale aos pontos médios entre os valores limites do indicador de qualidade avaliado.

A curva de padronização do tipo “mais é melhor” é utilizada para padronização de indicadores em que os maiores valores melhoram a qualidade do solo, a exemplo da capacidade de troca de cátions, saturação por bases e teor de carbono orgânico (Figura 2 (a)); “valor ótimo” é utilizada para indicadores que apresentam um efeito positivo na qualidade do solo até determinado valor, a partir do qual sua influência é negativa, a exemplo da porosidade total, potencial de hidrogênio e condutividade hidráulica em solo saturado (Figura 2 (b)). As curvas de padronização do tipo “menos é melhor” padronizam indicadores como a densidade do solo, a resistência à penetração e a saturação por alumínio, em que a qualidade está associada aos menores valores dos mesmos (Figura 2 (c)).

Para este estudo foram definidas três funções principais com seus respectivos indicadores de qualidade e ponderadores (Quadro 1).



**Figura 2: Curvas para padronização dos indicadores e avaliação do índice de qualidade do solo: (a) “mais é melhor”, (b) “menos é melhor” e (c) “valor ótimo”.**

**Quadro 2. Funções principais e indicadores físicos e químicos utilizados para a avaliação da qualidade para a camada superficial do solo (0 - 0,2 m) sob três sistemas de uso e manejo**

Funções principais	Ponderadores das funções	Indicadores de qualidade (*)	Unidade dos indicadores	Ponderadores dos indicadores	Limites críticos		Referências dos limites críticos
					Inferior	Superior	
<b>Crescimento radicular em profundidade (CRP)</b>	40	RP <sub>100kPa</sub>	MPa	0,40	2,00		Taylor et. al. (1966)
		MP	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,30	0,10	0,30	Carter (2002)
		Ds	kg dm <sup>-3</sup>	0,10	1,52		Souza et al. (2003)
		m	%	0,20	50		Lepsch (1983)
<b>Condução e armazenamento de água (CAA)</b>	40	K <sub>0</sub>	cm h <sup>-1</sup>	0,20	2,00	20	Lepsch (1983)
		MP	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,20	0,10	0,30	Carter (2002)
		UV <sub>33kPa</sub> /PT	-	0,30	0,55		Souza et al. (2003)
		AD/PT	-	0,30	0,125		Souza et al. (2003)
<b>Suprimento de nutrientes (SN)</b>	20	pH em água	-	0,10	5,0	6,5	C.E.F Solo (1989)
		CTC	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,40	4,0		Lepsch (1983)
		V	%	0,20	50		Lepsch (1983)
		M. O.	g kg <sup>-1</sup>	0,30	15		C.E.F Solo (1989)

(\*)RP<sub>100kPa</sub> = resistência à penetração a 100kPa de umidade no solo; MP = macroporosidade do solo; Ds = densidade do solo; m %= saturação por alumínio; K<sub>0</sub> = condutividade hidráulica do solo saturado; UV<sub>33kPa</sub>/PT = relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total do solo; AD/PT = relação água disponível/porosidade total do solo; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases e M.O. = matéria orgânica.

As funções principais foram: crescimento radicular em profundidade (CRP), condução e armazenamento de água (CAA) e, suprimento de nutrientes (SN). O cálculo do IQS foi obtido pela expressão:

$$q(FP) = I_1 \times W_1 + \dots + I_n \times W_n \quad (3)$$

)

sendo:  $q(FP)$  - contribuição parcial de cada função principal para o valor global do IQS;  $I_n$  - representa os valores dos diferentes indicadores da função principal avaliada;  $W_n$  - pesos relativos atribuídos a cada indicador e representam a importância do mesmo na composição do índice de qualidade do solo.

Na seqüência multiplicam-se os valores encontrados em cada função principal pelo seu respectivo ponderador e efetua-se a soma dos resultados, determinando-se assim, o índice de qualidade do solo ( $IQS$ ):

$$IQS = (qCRP \times wCRP) + (qCAA \times wCAA) + (qSN \times wSN) \quad (4)$$

sendo:  $qCRP$  - valor ponderado da função principal crescimento do sistema radicular em profundidade;  $qCAA$  - valor ponderado da função condução e armazenamento de água;  $qSN$  - valor ponderado da função suprimento de nutrientes;  $w$  - ponderadores associados a cada função principal.

### **Método de Dexter (2004)**

Este modelo baseia-se na determinação da declividade  $S$  no ponto de inflexão da curva de retenção da água no solo. Para determinação da curva de retenção de água no solo, amostras indeformadas de solo foram saturadas por capilaridade e submetidas, em uma mesa de tensão, aos potenciais matriciais de 0; 0,001; 0,002; 0,004 e 0,006 MPa; também amostras deformadas foram colocadas em anéis de borracha sobre uma placa porosa, saturadas e em seguida submetidas aos potenciais 0,0333; 0,1; 0,3; 0,5 e 1,5 MPa pelo método da câmara de pressão de Richards (EMBRAPA 1997). Após atingir o equilíbrio, as amostras da mesa de tensão e da câmara de Richards foram pesadas em balança de precisão e em seguida levadas à estufa a 105 °C por 48 horas. Após a

secagem foram pesadas novamente para a determinação da umidade correspondente à tensão aplicada.

Os pares de resultados umidade versus tensão aplicada foram plotados em um gráfico e as curvas resultantes ajustadas ao modelo proposto por van Genuchten (1980), conforme a equação:

$$\theta = (\theta_{sat} - \theta_{res})[1 + (\alpha h)^n]^{-m} + \theta_{res} \quad (5)$$

sendo:  $\theta$  - umidade do solo;  $\theta_{sat}$  - umidade do solo na saturação;  $\theta_{res}$  - umidade residual do solo;  $h$  - tensão da água no solo;  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$ , parâmetros de ajuste.

Dexter & Bird (2001) demonstraram que o módulo do potencial da água no ponto de inflexão, quando é plotado como  $\ln(h)$  vs  $\theta$ , é determinado por:

$$h_i = \frac{1}{\alpha} \left[ \frac{1}{m} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (6)$$

Substituindo (6) em (5) tem-se a equação 7, que permite determinar a umidade do solo no ponto de inflexão como:

$$\theta_i = (\theta_{sat} - \theta_{res}) \left[ 1 + \frac{1}{m} \right]^{-m} + \theta_{res} \quad (7)$$

Segundo Dexter (2004) é possível determinar a inclinação  $S$  da curva de retenção de água no ponto de inflexão, ou:

$$S = -n(\theta_{sat} - \theta_{res}) \left[ 1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+m)} \quad (9)$$

sendo  $h$  expresso em hPa e  $\theta$  em  $\text{kg kg}^{-1}$ . Para Dexter (2004) o valor de  $S$  está diretamente relacionado a qualidade estrutural do solo e quando é superior a 0,035 indica boa qualidade física do solo. Dexter e Bird (2001) também



consideram a umidade no ponto de inflexão da curva de retenção de água no solo (Equação 7) como a umidade ótima para as culturas.

A umidade na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ) foi estimada com base na umidade retida à tensão de 0,033 MPa em câmaras de pressão de Richards.

### **Avaliação estatística**

Os indicadores e índices de qualidade foram submetidos à análise de variância e as médias dos resultados comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **Método de Karlen & Stott (1994)**

Os valores dos indicadores de qualidade para o método de Karlen & Stott (1994) estão apresentados no quadro 3. No sistema mata nativa (MN) o pH é baixo, indicando acidez elevada; a saturação por alumínio é alta e está acima de 50% o que reflete na saturação por bases, cujo valor apresenta-se muito baixo, indicando que a disponibilidade de nutrientes para as plantas é limitada. No entanto, verifica-se que a CTC apresenta valores elevados, o que pode ser atribuído à contribuição da matéria orgânica e da fração argila. São condições que indicam um possível impedimento químico ao crescimento radicular das plantas, conforme verificado por Furtini Neto et al. (1999). Por outro lado, os valores encontrados para  $RP_{100kPa}$  e densidade do solo ( $D_s$ ) estão muito baixos, cujos reflexos aparecem nos valores da macroporosidade e mostram que o solo, na condição da mata, não oferece restrições físicas a expansão e crescimento das raízes das plantas. Resultado semelhante foi encontrado por Melo Filho et al. (2007) quando avaliaram a qualidade de um solo sob condição de mata.

**Quadro 3. Indicadores de qualidade para a camada superficial do solo (0 - 0,2 m) sob três sistemas de uso e manejo**

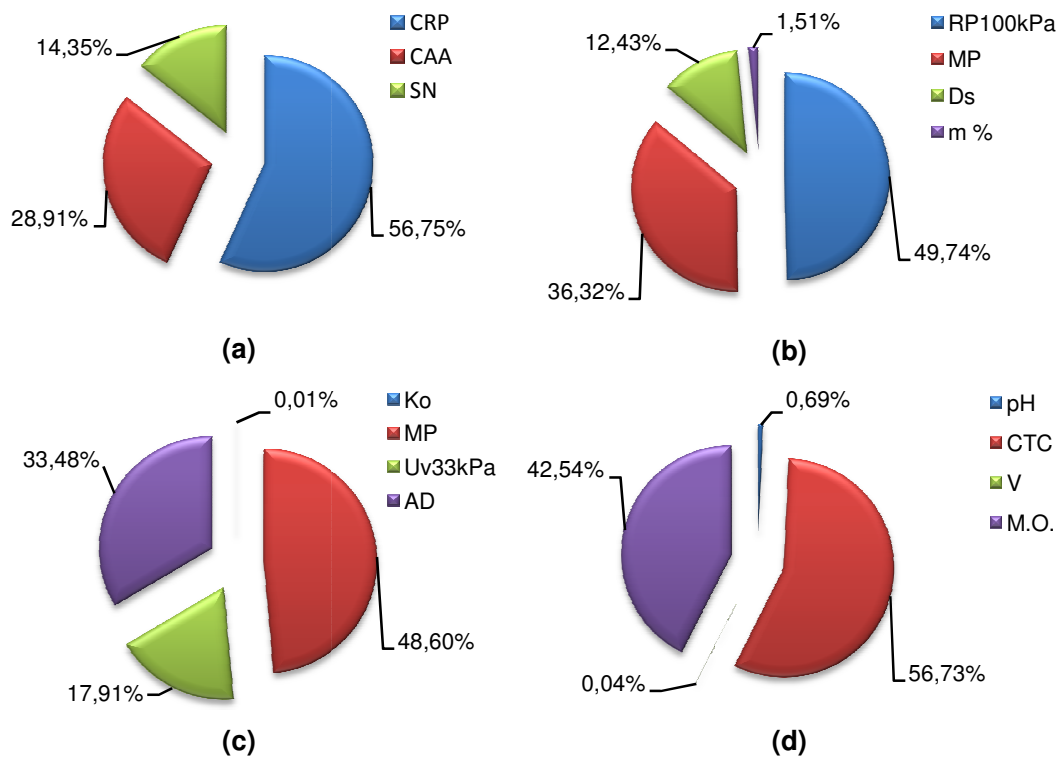
<b>*RP<sub>100kPa</sub></b>	<b>MP</b>	<b>Ds</b>	<b>m</b>	<b>*K<sub>o</sub></b>	<b>UV<sub>33kPa</sub>/PT</b>	<b>AD/PT</b>	<b>pH</b>	<b>CTC</b>	<b>V</b>	<b>M.O.</b>
MPa	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	kg cm <sup>-3</sup>	%	cm h <sup>-1</sup>	-	-	-	cmol dm <sup>-3</sup>	%	g kg <sup>-1</sup>
<b>Mata Nativa (MN)</b>										
0,95	0,20a	0,93a	66,73b	59,45	0,47a	0,12a	4,10a	12,53a	5,58a	38,60a
<b>Café + Coco (CC)</b>										
2,11	0,17a	1,13a	16,59a	41,49	0,48a	0,15b	4,77a	15,6a	27,73b	41,93a
<b>Cacau + Seringueira (CS)</b>										
1,56	0,13a	1,00a	45,17b	21,10	0,54a	0,19c	4,57a	13,47a	13,23ab	37,37a

RP<sub>100kPa</sub> = resistência à penetração a 100kPa de umidade no solo; MP = macroporosidade do solo; Ds = densidade do solo; m %= saturação por alumínio; K<sub>o</sub> = condutividade hidráulica do solo saturado; UV<sub>33kPa</sub>/PT = relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total do solo; AD/PT = relação água disponível/porosidade total do solo; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases e M.O. = matéria orgânica. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. (\*) RP<sub>100kPa</sub> e K<sub>o</sub> sem comparação estatística.

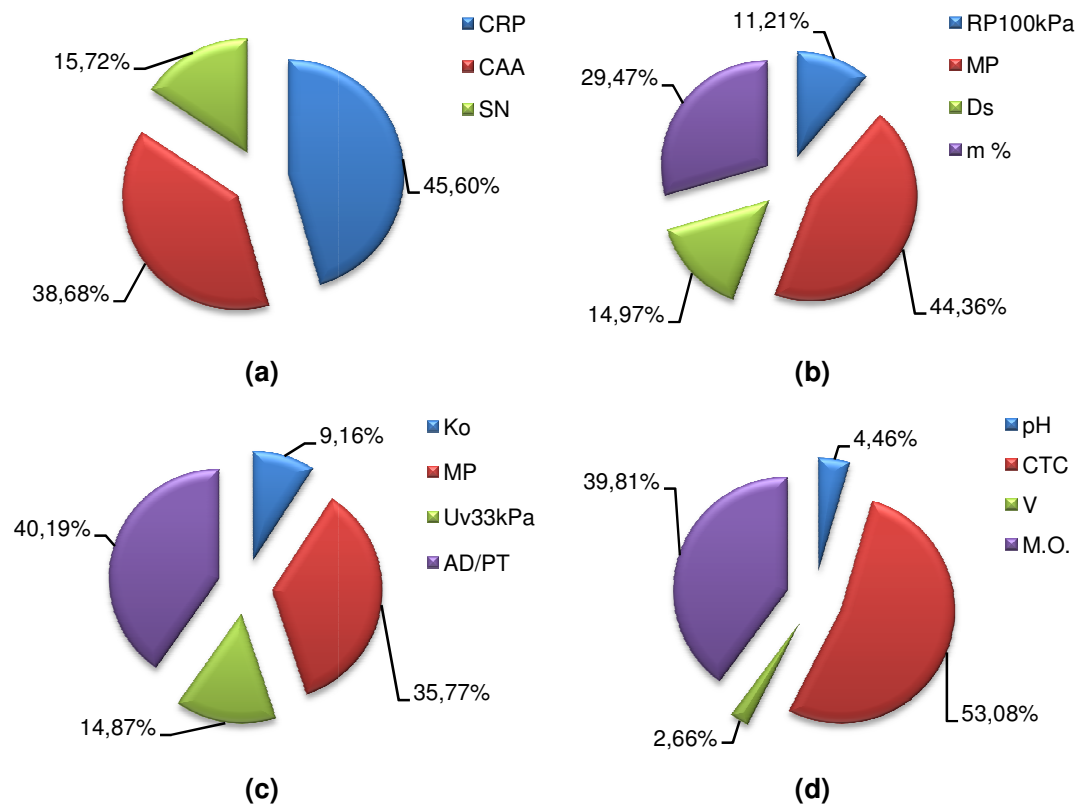
Nos agroecossistemas café + coco (CC) e cacau + seringa (CS) verifica-se também pH baixo, elevada acidez e baixa saturação por bases. A CTC e a matéria orgânica também apresentam valores elevados. Quanto aos indicadores físicos, os efeitos dos sistemas de manejo consorciados podem ser observados pela diminuição da quantidade de macroporos, refletindo nos valores de  $K_0$ . As relações  $UV_{33kPa}/PT$  e  $AD/PT$  também foram maiores nos sistemas CC e CS em relação ao sistema MN, embora a relação  $UV_{33kPa}/PT$  tenha permanecido abaixo do limite crítico de 0,55 nestes sistemas. A relação  $AD/PT$  apresentou diferença estatística entre os três sistemas, tendo sido maior no sistema CS. Em relação ao limite crítico para este indicador, observou-se que o mesmo foi 20% maior no sistema CC e 52% no sistema CS. Também foi observado aumento na  $D_s$  nos sistemas CC e CS em relação ao sistema MN, confirmando resultados obtidos por Araújo et al. (2004), muito embora não tenham sido verificadas diferenças estatísticas entre os sistemas avaliados e todos os valores tenham sido muito baixos.

A  $RP_{100kPa}$  foi maior nos sistemas consorciados que na mata e ultrapassou o limite crítico de 2,0 MPa no sistema CC. Este sistema também apresenta maior  $D_s$ , confirmando os resultados obtidos por Cunha et al. (2002), os quais verificaram correlação positiva entre a  $RP$  e  $D_s$ . Tendo em vista que não existe trânsito de máquinas na área, este resultado pode ser atribuído ao pisoteio humano e animal durante os tratos culturais e a colheita.

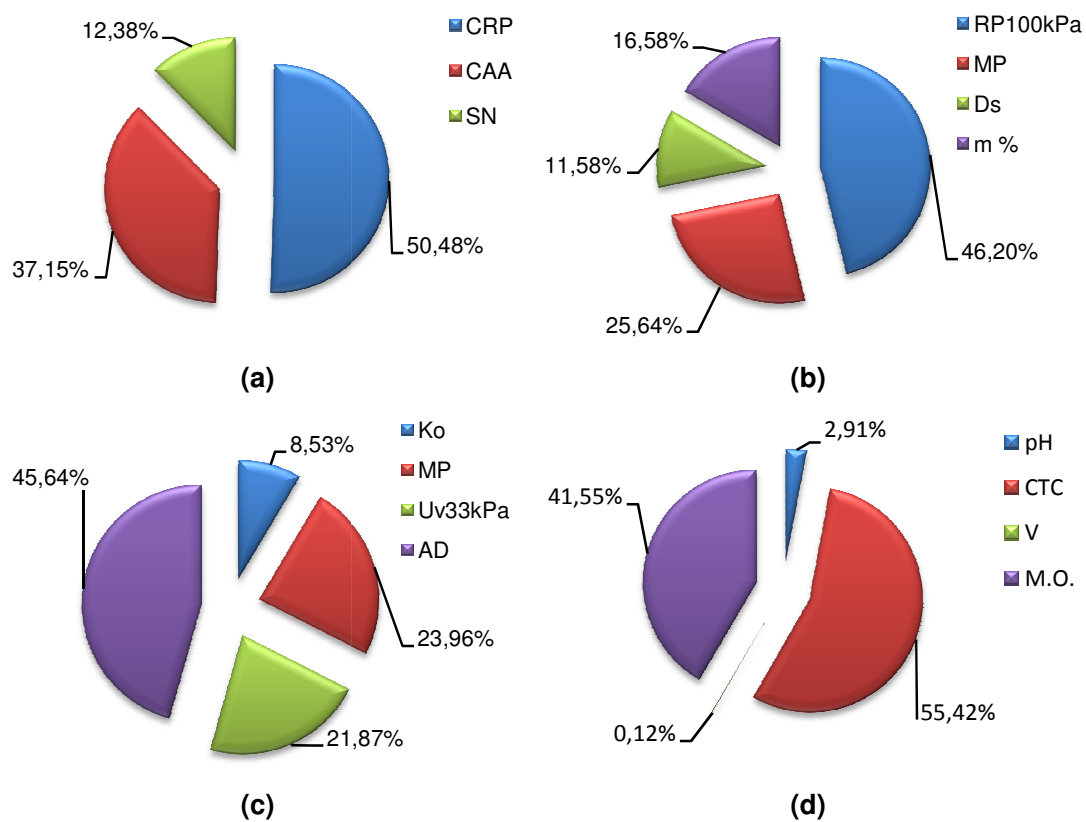
Os valores dos indicadores da função CRP para os sistemas MN e CS (Quadro 3) não apresentaram diferenças estatísticas e mostram que os dois sistemas não oferecem limitações ao crescimento radicular em profundidade. Dentre estes, apenas a saturação por alumínio (m%), no sistema MN, apresenta algum grau de limitação, sem, no entanto, afetar o valor global da função CRP, visto que, este indicador contribui muito pouco, apenas 1,51%, para a composição final do valor do IQS desta função (Figura 3b). Considerando-se o valor global do IQS das funções (Quadro 4), verifica-se que, o sistema CC foi o que apresentou menor valor para CRP, diferindo estatisticamente dos sistemas MN e CS. Seu valor é regular e a  $RP_{100kPa}$  foi o indicador que apresentou maior grau de limitação. Seu valor foi superior a 2,0 MPa e contribuiu com 11,21% para a formação do índice global da mesma (Figura 4b).



**Figura 3: Participação relativa das funções principais e indicadores de qualidade na composição do Índice de qualidade para a camada superficial do solo (0 – 0,2 m) sob uso e manejo com mata nativa (MN): a) IQS; b) função CRP; c) função CAA; e d) função SN.**



**Figura 4: Participação relativa das funções principais e indicadores de qualidade na composição do Índice de qualidade para a camada superficial do solo (0 – 0,2 m) sob uso e manejo com sistema consorciado café + coco (CC): a) IQS; b) função CRP; c) função CAA; e d) função SN.**



**Figura 5: Participação relativa das funções principais e indicadores de qualidade na composição do Índice de qualidade para a camada superficial do solo (0 – 0,2 m) sob uso e manejo com sistema consorciado cacau + seringueira (CS): a) IQS; b) função CRP; c) função CAA; e d) função SN.**

Quanto à função CAA, observa-se que o menor valor (0,41) foi no sistema MN (Quadro 4). Sendo classificado como IQS ruim, indicando que neste sistema o solo apresenta limitações quanto à condução e o armazenamento da água. As causas podem ser atribuídas aos indicadores  $K_o$ , cujo valor mostra que a profundidade avaliada drena muito rapidamente e não regula adequadamente o fluxo de água para as plantas; e a relação  $Uv_{33kPa}/PT$ , que apresentou-se abaixo do limite crítico. Os valores observados no campo para  $K_o$  resultaram também em escores padronizados muito baixos, o que refletiu na baixíssima contribuição deste indicador para a composição final do índice desta função (Figura 1c). Importante registrar também em relação à função CAA que, nos três sistemas estudados, foram a  $K_o$  e a  $Uv_{33kPa}/PT$  os indicadores que apresentaram-se mais limitantes. Por conta desta realidade, seus escores padronizados foram baixos e suas contribuições para a composição do índice global da função também foram inferiores ao esperado (Figuras 3c, 4c e 5c).

Para a função SN, os indicadores pH e V% foram limitantes nos três sistemas avaliados e apresentaram-se abaixo dos seus respectivos limites críticos. Apesar dos baixos valores, estes indicadores não comprometeram o valor do IQS final da função SN, que foi superior a 0,7, ótimo segundo Souza (2005), nos três sistemas. Os valores de pH e V%, também resultaram em escores padronizados muito baixos resultando em baixa contribuição para o valor global do IQS da função. Nos três sistemas, a função SN dependeu quase exclusivamente dos indicadores M.O. e CTC, os quais contribuíram com mais de 90% para a formação do IQS da função (Figura 3d, 4d e 5d).

**Quadro 4. Valor das funções principais e índice de qualidade do solo (IQS) da camada superficial do solo (0 - 0,2 m) sob três sistemas de uso e manejo**

<b>Sistema de manejo</b>	<b>CRP</b>	<b>CAA</b>	<b>SN</b>	<b>IQS</b>
<b>Mata Nativa (MN)</b>	0,80b	0,41a	0,71a	0,63
<b>Café + Coco (CC)</b>	0,67a	0,57a	0,76a	0,65
<b>Cacau + Seringueira (CS)</b>	0,87b	0,64a	0,72a	0,75

CRP - crescimento radicular em profundidade; CAA – condução e armazenamento de água; SN – suprimento de nutriente; IQS – índice de qualidade do solo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

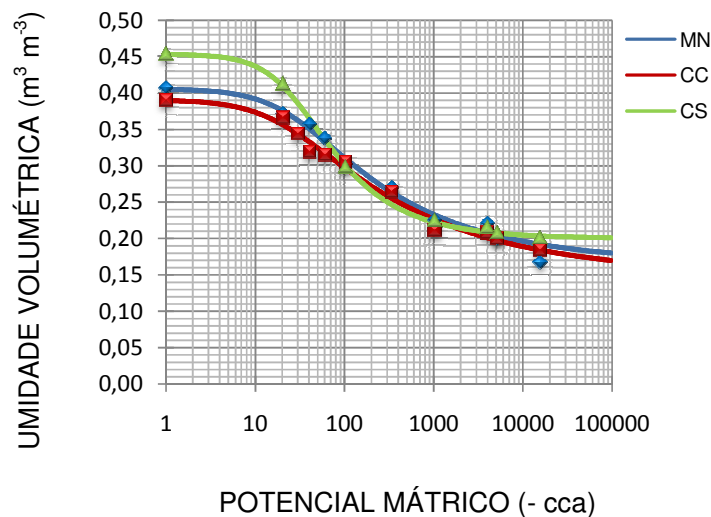
O IQS calculado a partir da integração das três funções CRP, CAA e SN, determinou distintas classes de qualidade do solo. Nos sistemas MN com IQS de 0,63 e CC, com IQS de 0,65 o solo apresentou média qualidade ( $5,1 \leq \text{IQS} \leq 7,0$ ). No sistema CS, o IQS foi de 0,75 e a classe correspondente a de ótima qualidade.

No método de Karlen & Stott (1994) são estabelecidos pesos ou ponderadores para determinar a participação de cada função na composição do índice final de qualidade do solo. Neste estudo, o sistema que mais se aproximou da composição prevista no método (CRP = 40%, CAA = 40% e SN = 20%) foi o CC, muito embora o sistema que apresentou maior IQS tenha sido o CS, dessa forma, fica evidente que maiores valores de IQS nem sempre estão associados ao maior equilíbrio entre as funções, confirmando resultados obtidos por Menezes (2005).

#### **Método de Dexter (2004)**

As curvas de retenção de água para os três sistemas avaliados estão representadas na figura 6, onde se verifica as semelhanças e diferenças de comportamento do solo em função do uso e manejo. As curvas, especialmente no sistema de uso com cacau + seringueira, apresentam nítidas diferenças nas tensões de 0; 10; 20; 40 e 60 cca, relacionadas à influência da estrutura e da macroporosidade do solo. Neste caso, a área de cacau + seringueira apresentou os maiores conteúdos de água para as tensões mais baixas, na capacidade de campo, no ponto de inflexão e umidade residual. Dentre as três, é a curva que apresenta conformação indicativa de melhor qualidade física do solo (Dexter, 2004), o que pode ser comprovado pelo valor do S calculado para este sistema (0,073), muito acima do valor da mata nativa (0,045) e do café + coco (0,039). Esse é um resultado coerente em relação ao CC, mas não esperado em relação a MN, tendo em vista as condições dos indicadores físicos relacionados ao S apresentados pelo solo na área da mata (Quadro 3). No entanto, pode estar associado ao melhor grau de estruturação das partículas no sistema CS, tendo em vista a melhoria na retenção de água pelo pequeno aumento da densidade e redução da porosidade total e macroporosidade em relação à MN.





**Figura 6. Curvas de retenção de água no solo para a camada superficial do solo (0 – 0,2 m) sob três sistemas de uso e manejo.**

O quadro 5 apresenta os percentuais relativos à porosidade do solo para os três sistemas de manejo. Observa-se que o sistema CS apresenta menor macroporosidade e maior microporosidade dentre os três, e menor porosidade total em relação à MN, o que confere maior capacidade de retenção de água ao solo no sistema CS, que também apresenta menor condutividade hidráulica saturada ( $21,10 \text{ cm h}^{-1}$ ) em relação aos sistemas MN e CC. Juhász et. al (2007) encontraram características semelhantes para horizontes superficiais quando estudaram a qualidade física do solo em uma parcela permanente sob floresta ombrófila densa.

**Quadro 5. Distribuição de poros para a camada superficial do solo (0 – 0,2 m) sob três sistemas de uso e manejo**

Sistema de manejo	Macroporos	Microporos	Volume total de poros
<b>Mata Nativa (MN)</b>	19,14	38,02	57,16
<b>Café + Coco (CC)</b>	17,17	36,31	53,48
<b>Cacau + Seringueira (CS)</b>	13,02	43,08	56,10

Segundo Kiehl (1979), o solo ideal deve apresentar distribuição de poros formada por 34% de macro e 66% de microporos da porosidade total do solo.

Observando-se o quadro 5, verifica-se que a porosidade total para os três sistemas é superior a 50%, assim como apenas o sistema CS apresenta relação macro/microporos fora do padrão considerado equilibrado e ideal por Kiehl (1979).

No quadro 6 podem ser observados os coeficientes ( $\theta_s$ ,  $\theta_R$ ,  $n$  e  $\alpha$ ) das curvas de retenção de água no solo ajustadas ao modelo de van Genuchten (1980) e umidade no ponto de inflexão. Segundo Dexter & Bird (2001) o conteúdo de água no solo no ponto de inflexão é a medida mais apropriada da entrada de ar no solo, mostrando o limite da distribuição de poros por tamanho e pode ser utilizada na estimativa da capacidade de campo, pois a umidade no limite inferior de plasticidade apresenta valores muito próximos ao da umidade no ponto de inflexão, sendo então, possível adotar a relação de igualdade entre a umidade na capacidade de campo e no ponto de inflexão. Nos três sistemas de manejo estudados, a umidade no ponto de inflexão foi superior ao valor da umidade na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ) (Quadro 6). Os elevados valores de umidade no ponto de inflexão podem ser atribuídos à matéria orgânica, que melhora a agregação e aumenta a capacidade de retenção de água nas baixas tensões (Maia et al., 2005) e ainda melhora as relações  $UV_{33kPa}/PT$  e  $AD/PT$  (Quadro 3).

**Quadro 6. Coeficientes de ajuste para equação de van Genuchten (1980) e umidade no ponto de inflexão para na camada superficial do solo (0 – 0,20 m) sob três sistemas de manejo, mata nativa (MN), consórcio café + coco (CC) e consórcio cacau + seringueira (CS)**

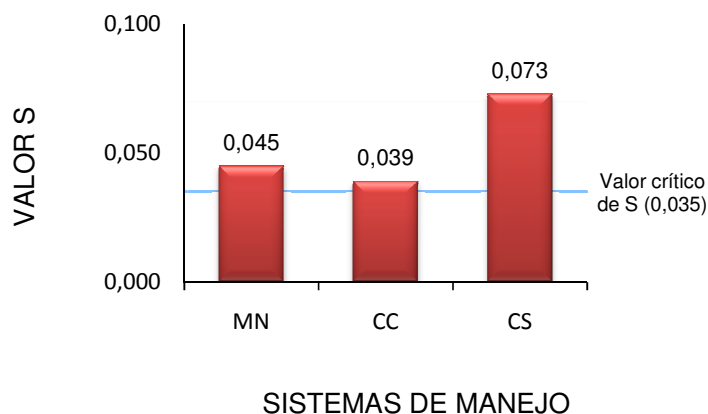
Sistema de manejo	$\theta_s$	$\theta_R$	$n$	$\alpha$	$\theta_{cc}$	$\theta_{inf}$
	_____ $m^3 m^3$ _____				_____ $m^3 m^3$ _____	
<b>Mata Nativa (MN)</b>	0,406	0,167	1,356	0,037	0,270	0,325
<b>Café + Coco (CC)</b>	0,391	0,150	1,295	0,048	0,264	0,314
<b>Cacau + Seringueira (CS)</b>	0,454	0,200	1,671	0,037	0,306	0,354

$\theta_s$  - unidade do solo na saturação;  $\theta_R$  - unidade residual do solo;  $n$  e  $\alpha$  - parâmetros que governam o formato da curva ajustada;  $\theta_{cc}$  – umidade na capacidade de campo;  $\theta_{inf}$  – umidade no ponto de inflexão

O sistema CS apresenta maiores valores de  $\theta_s$ ,  $\theta_R$ ,  $\theta_{cc}$  e  $\theta_{inf}$  quando comparado aos demais sistemas em estudo (Quadro 6). São valores coerentes,

tendo em vista que foi o sistema de uso CS que apresentou maior percentual de microporos, cuja função é exatamente a retenção de água.

Os valores de S calculado nos três sistemas apresentam-se superior ao limite crítico de 0,035 (Dexter, 2004), o sistema CS foi o que apresentou maior valor (0,073) (Figura 7). Segundo Silva (2004), os valores de S acima de 0,035 indicam que, neste sistema, o solo apresenta melhor configuração de poros, e, portanto menor restrição física para o crescimento de raízes de plantas quer seja por aeração, restrição mecânica ou por características de retenção de água. Porém, como pode ser observado no quadro 5, o sistema CS é o que mais se distancia da condição ideal de porosidade descrita por Kiehl (1979), mas por outro lado, foi o que apresentou melhor índice de qualidade associado à função crescimento radicular em profundidade (Quadro 4).



**Figura 7. Valor S para os três sistemas de uso e manejo. Mn = mata nativa, CC = café + coco, e CS = cacau + seringueira.**

O valor de S e, portanto, a boa qualidade física da camada superficial do solo nos três sistemas de uso e manejo, pode ser atribuída aos elevados teores de matéria orgânica encontrados, o que está de acordo com as observações de Dexter (2004), que encontrou correlação positiva entre a matéria orgânica e o índice S. Resultado semelhante também foi encontrado por Silva (2004), cujo resultado o autor atribuiu aos efeitos positivos da matéria orgânica na melhoria da estrutura do solo.

O menor valor de S foi encontrado no sistema CC. Isto pode estar relacionado à maior Ds e a  $RP_{100kPa}$  em relação aos sistemas MN e CS (Quadro 3), cujo efeito negativo na distribuição de tamanho dos poros resulta em redução do valor desse índice.

Os dois métodos de avaliação indicaram melhor qualidade para o sistema CS (Quadro 7), portanto, foram concordantes e podem ser considerados como complementares. A metodologia de Karlen & Stott (1994) permitiu observar quais indicadores apresentam limitações ao bom funcionamento do solo. Como um método indireto de avaliação, o índice S pode ser utilizado como complementar ao método proposto por Karlen & Stott (1994), contribuindo para aumentar a dimensão da avaliação e conferir maior grau de precisão ao resultado final.

**Quadro 7. Índice de qualidade do solo (IQS) e índice S para a camada superficial do solo (0 – 0,20 m) sob três sistemas de manejo**

Métodos	Sistema de manejo		
	Mata Nativa (MN)	Consórcio Café + Coco (CC)	Consórcio Cacau + Seringueira (CS)
IQS	0,63	0,65	0,75
S	0,045	0,039	0,073

## CONCLUSÕES

Os métodos estudados foram sensíveis em identificar as alterações no solo em decorrência do uso e manejo; apresentaram concordância de resultados e podem ser usados conjuntamente em sistemas de avaliação da qualidade do solo para aumentar a dimensão da avaliação e conferir maior grau de precisão ao resultado final.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A. & SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado e sob mata nativa. R. Bras. Ci. Solo, 28:337-345, 2004

- COSTA, E. A.; et al. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. *Pesq. agropec. bras.*, 41:1185-1191, 2006.
- CARTER, M. R. Quality, critical limits and standardization. In: LAL, R. (Ed.). *Encyclopedia of soil science*. New York, Marcel Dekker, 2002. p.1062 – 1065.
- CHAER, G. M. Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 90p (Dissertação de Mestrado)
- COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e calagem para o Estado da Bahia. 2. ed. Salvador, CEPLAC/EMATERBA/EMBRAPA/EPABA /NITROFÉRTIL, 1989. 173 p.
- CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C; MIELNIZUK, J. & SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliado pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:777-788, 2005.
- CUNHA, J.P.A.R.; VIEIRA, L.B. & MAGALHÃES, A.C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. *Engenharia na Agricultura*, 10:1-4, 2002.
- DEXTER, A.R. & BIRD, N.R.A. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil Till. Res.*, 57: 203-212. 2001.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120:201-214. 2004.
- DIAS, R.C.S. Qualidade do solo e desenvolvimento radicular de citros em Latossolo Amarelo coeso sob diferentes sistemas de manejo. Cruz das Almas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2006. 54p. (Dissertação de Mestrado)
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-22. (Publication Number, 35)

- DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A. Soil health and sustainability .  
In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*, San Diego, CA, 56:1-54, 1996.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos (EMBRAPA – CNPS), 1997. 212p.
- FERREIRA, M.M.; MARCOS, Z.Z. Estimativa da capacidade de campo de Latossolo Roxo distrófico e Regossolo através do ponto de inflexão da curva característica de umidade. *Ciência e Prática*, 7:96- 101, 1983.
- FIDALSKI, J. & TORMENA, C.A. Homogeneidade da qualidade física do solo nas entrelinhas de um pomar de laranjeira com sistemas de manejo da vegetação permanente. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:637-645, 2007.
- FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; VALE, F.R.; FAQUIN, V. & FERNANDES, L.A. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda. *Cerne*, 5:001-012, 1999.
- GLOVER, J.D.; REGANOLD, J.P. & ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agric. Ecosys. Environ.*, 80:29-45, 2000.
- GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M. & ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to asses soil organic matter quality in agricultural soil. *Can. J. Soil. Sci.*, 74:367-385, 1994.
- HUSSAIN, I.; OLSON, K.R.; WANDER, D.L. & KARLEN, D. L. Adaptation of soil quality indices and aplication to three tillage systems in southern Illinois. *Soil Till. Res.*, 50:237-249, 1999.
- JUHÁSZ, C.E.P.; SORIA, J.E.; COOPER, M.; TOMA, R.S. & CARVALHO, A.R. Qualidade física do solo em uma parcela permanente sob floresta ombrófila densa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007. Anais. Gramado, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Disponível em: <[http://www6.ufrgs.br/cbcs/trabalhos/trabalhos/trab\\_5307-1861.pdf](http://www6.ufrgs.br/cbcs/trabalhos/trabalhos/trab_5307-1861.pdf)>. Acesso em 05 maio 2008.
- KARLEN, D.L.; STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W., D. C. COLEMAN, BEZDICEK, D. F. & STEWART, B. A. (eds.). *Defining soil quality for a sustainable*

- environment. Madison, Soil Science Society of American / American Society of Agronomy, 1994. p.53-71. (SSSA Spec. Publ. No. 35)
- KIEHL, E. J. Manual de edafologia. São Paulo, Agronômica "Ceres", 1979. 262p.
- LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. In: INTERNATIONAL BOARD FOR SOIL RESEARCH AND MANAGEMENT, 12., 1991, Bangkok. Proceedings... Bangkok: [s.e.], 2, 1991.
- LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. 83p. 4º Ed.
- LEPSCH, I. F. Manual de levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175p.
- LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo. 2005. 344p.
- MAIA, C.E.; MORAIS, E.R.C; MEDEIROS, J.F. Capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas em função de doses de vermicomposto. Caatinga, Mossoró, 18:195-199. 2005
- MENEZES, A.A. Produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e a classe de solo. 2005. 110f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- MIELNICZUK, J. . Manejo do solo no Rio Grande do Sul: Uma síntese histórica. Revista da Agronomia, v.12, p.11-22, 1999.
- MELO FILHO, J.F.; SOUZA, A.L.V. & SOUZA, L.S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos tabuleiros costeiros, sob floresta natural. R. Bras. Ci. Solo, 31:1599-1608, 2007.
- RAIJ, B.V.; QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 31p. (Boletim técnico nº 81).
- SANDS, G.R. & PODMORE, T.H. A generalized environmental sustainability index for agricultural system. Agric. Ecosyst. Environ. 79:29-41. 2000.
- SEI – Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Banco de dados. Informações Geoambientais. < Disponível em: [www.sei.ba.gov.br](http://www.sei.ba.gov.br)> acessado em 16/11/2007.

- SILVA, A.P. Interação manejo x física. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 15., 2004. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. CD – ROM
- SILVEIRA, E.C.P. Qualidade do solo em dois sistemas de uso e manejo no ambiente dos tabuleiros costeiros do Recôncavo Baiano. Cruz das Almas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2007. 99 p. (Dissertação de Mestrado)
- SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D. & SOUZA, L. F. da S. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo sob o enfoque de produção vegetal: estudo de caso para citros em solos coesos de tabuleiros costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29. 2003. Ribeirão Preto. UNESP, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD – ROM.
- SOUZA, A. L. V. Avaliação da qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. Cruz das Almas – BA. 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola de Agronomia. Universidade Federal da Bahia.
- TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M. & PARKER JR., J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. Soil Science. 102:18-22, 1966.
- TORMENA, C.A. & SILVA, A.P. Avaliação da qualidade física de um solo utilizando o parâmetro S. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 15. 2004. Anais... Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. CD – ROM
- van GENUCHTEN, M. Th. A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-898, 1980.



## **CAPÍTULO 2**

### **AVALIAÇÃO DE UM MÉTODO RÁPIDO PARA DETERMINAÇÃO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO <sup>2</sup>**

---

<sup>1</sup> Artigo ajustado e submetido ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Brasileira de Ciência do Solo.

## **AVALIAÇÃO DE UM MÉTODO RÁPIDO PARA DETERMINAÇÃO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO**

**RESUMO:** A curva de retenção de água representa a relação entre o teor de água no solo e a energia com a qual ela está retida nos poros e/ou adsorvida nas partículas minerais do solo. É uma característica do solo que tem importantes aplicações relativas à dinâmica da água e seus efeitos na produção vegetal. Atualmente também é utilizada como base para determinação de índices de qualidade física do solo. Existe uma grande variedade de métodos para sua elaboração, dentre os quais a câmara de pressão de Richards, método básico e mais comum. Atualmente equipamentos eletrônicos, a exemplo do psicrômetro WP4, têm sido sugeridos como instrumentos úteis para elaboração da curva de retenção. Este trabalho teve como objetivo avaliar o método de elaboração da curva de retenção de água no solo com o psicrômetro WP4 e a sua utilidade para a determinação do índice S de qualidade física do solo. Os resultados obtidos mostram que a curva de retenção de água no solo elaborada pelo psicrômetro WP4, em relação ao método de Richards, apresenta alterações na forma e nos parâmetros de ajuste relativos à equação de van Genuchten (1980), podendo subestimar atributos e índices de qualidade do solo, não sendo recomendável, portanto, a utilização desse equipamento quando o objetivo for elaborar a curva de retenção para o cálculo de índices e parâmetros do solo associados à mesma.

**Palavras-chave:** Qualidade física do solo, câmara de Richards, psicrômetro WP4

## **ASSESSMENT OF A QUICKLY METHOD FOR DETERMINATION OF THE SOIL-WATER RETENTION CURVE**

**ABSTRACT:** The soil-water retention curve represents the relation between the water content on soil and the energy that retains it on pores and/or adsorbed in the mineral particles of soil. This is a soil characteristic that has important applications on the dynamic of water and their effects on crop production. It is also used as a base to determinate index of soil physical quality. There is a large variety of methods for its determination, among them the pressure plate apparatus (Richards pressure chamber) is the primary and most common method. Electronic equipments, such as psychrometer WP4, have been suggested as useful tools to determine the soil-water retention curve. This study aimed to evaluate the method for determination of the soil-water retention curve with the psychrometer WP4 and their useful to determinate the index S of soil physical quality. The results showed that the soil-water retention curve elaborated by psychrometer WP4 altered the shape and the fitting parameters of van Genuchten equation related to pressure plate apparatus and may underestimate attributes and soil quality index, not being recommended, therefore, the usage of this equipment when the objective is to elaborate the soil-water retention to calculate the indexes and soil parameters associated with them.

**Key words:** Retention curve, pressure plate apparatus, psychrometer WP4.

## INTRODUÇÃO

A curva de retenção de água representa a relação entre o teor de água no solo e a energia com a qual ela está retida nos poros e/ou adsorvida nas partículas minerais do solo. A metodologia para sua determinação foi estabelecida por Richards (1965) e desde então vem sendo amplamente utilizada na ciência do solo, dada as possibilidades e aplicações relativas às propriedades hidráulicas do solo. Atualmente também é utilizada como parâmetro para o estabelecimento de índice de qualidade do solo (Sarvasi, 1992; Reinert & Reichert, 2006).

Existe uma grande variedade de métodos para a determinação da curva de retenção (Moraes et al., 1993a). Dentre estes se destacam os métodos: da centrífuga (Spera, 2000; Silva & Azevedo, 2002; Silva et al., 2006, Oliveira et al., 2004), do funil de placa porosa (Moraes et al., 1993a; Moraes et al., 1993b; Cintra et al., 2004), câmara de pressão de Richards (Moraes et al., 1993a; Moraes et al., 1993b; Otto & Alcaide, 2001; Cintra et al., 2004) e tensiometria (Sarvasi et al., 1992, Otto & Alcaide, 2001; Cichota & van Lier 2004).

O método mais comum para a determinação da curva de retenção é o da câmara de pressão de Richards (1965). Este método apresenta algumas desvantagens, como elevado custo do equipamento, tempo necessário para equilíbrio entre umidade e potencial mátrico, problemas de contato hidráulico entre a placa porosa e a amostra, além de não reproduzir bem as condições de campo (Otto & Alcaide, 2001). Por esta razão diversos pesquisadores têm proposto métodos mais baratos e rápidos, tanto em campo quanto em laboratório (Sarvasi, 1992; Otto & Alcaide 2001).

Mais recentemente, as tentativas buscam a utilização de equipamentos eletrônicos, a exemplo do psicrômetro WP4 e segundo Klein et al. (2006) o psicrômetro WP4 permitiu adequada estimativa do ponto de murcha permanente e disponibilidade hídrica às plantas, quando comparado à câmara de Richards, demonstrando a viabilidade de seu uso.

A curva de retenção de água no solo também tem sido proposta como um elemento fundamental para avaliação da qualidade solo em sistemas agrícolas. Por exemplo, Dexter (2004a) propôs um índice baseado na declividade da curva de retenção no seu ponto de inflexão, o qual tem sido avaliado e reconhecido

como um bom parâmetro de avaliação, preciso e sensível às alterações determinadas pelo uso e manejo do solo (Silva, 2004; Tormena & Silva, 2004; Fidalski & Tormena, 2007). O índice S também pode ser uma valiosa ferramenta para quantificação da degradação e avaliação da qualidade física do solo, pois o valor de S, permite inferir sobre importantes propriedades físicas do solo (Dexter, 2004b).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o método de elaboração da curva de retenção de água no solo com o psicrômetro (WP4) e sua utilidade para determinação do índice S de qualidade física do solo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Solo e coleta de amostras**

O solo utilizado neste estudo foi coletado na Fazenda Cultrosa, município de Camamú – BA, em duas áreas. Área 1: mata nativa (MN), pertencente a reserva legal da fazenda; e área 2: Consórcio cacau + seringueira (CS) no qual, o seringal foi implantado em 1968 e o cacau em 1988. Os tratamentos culturais dessa área são anuais e envolvem adubações químicas, roçagem química e manual e podas do cacauzeiro. No sistema MN, o solo foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico plúntico e no sistema CS como Plintossolo Hálpico Alumínico petroplúntico.

O sistema de amostragem utilizado foi um “transect” medindo 24 metros, com pontos de coleta espaçados a cada 12 m, totalizando 3 repetições por sistema de uso e manejo e as amostras de solo foram coletadas na profundidade 0 – 0,20 m.

### **Elaboração das curvas de retenção**

As curvas de retenção foram elaboradas conforme o método descrito em Embrapa (1997), com adaptações referentes à parte de alta tensão, para as quais se utilizaram câmaras de Richards e o psicrômetro WP4. Amostras indeformadas de solo foram saturadas por capilaridade e submetidas aos potenciais matriciais

de 0; 0,001; 0,002; 0,004 e 0,006 MPa, em uma mesa de tensão, descrita por Kiehl (1979). Esses dados foram utilizados para a elaboração das curvas nos dois métodos comparados.

**Câmara de Richards (1965):** Amostras deformadas foram colocadas em anéis de borracha sobre a placa porosa, saturadas e em seguida submetidas aos potenciais 0,0333; 0,1; 0,3; 0,5 e 1,5 MPa em câmara de pressão de Richards (Figura 1a), conforme (EMBRAPA, 1997). Após atingir o equilíbrio, essas amostras foram pesadas em balança de precisão e em seguida levadas à estufa a 105°C por 48h e pesadas novamente para a determinação da umidade correspondente à tensão aplicada.

**Psicrômetro WP4:** O WP4 é um equipamento eletrônico, que mede o teor de água em uma amostra de solo úmido, com estrutura deformada, em uma câmara hermeticamente fechada (Figura 1b). A umidade na câmara equilibra-se com o potencial da água no solo, sendo este calculado com base na temperatura do solo e do ar, no ponto de orvalho (Decagon Devices, 2000). Para tanto, as amostras de solo são previamente umedecidas, considerando-se ampla faixa de variação do teor de água do solo e posteriormente levadas ao equipamento. Cada determinação de potencial, para dado teor de água do solo, tem duração de cerca de 5 minutos e se leva aproximadamente 2 horas para determinação de aproximadamente vinte pontos para construção da curva de retenção de água no solo. A faixa de potencial utilizada neste estudo foi de 0,1 a 97 MPa.



**Figura 1: Equipamentos utilizados para elaboração da curva de retenção de água no solo para a camada superficial do solo (0 – 0,2 m) sob dois sistemas de uso e manejo: a) Câmara de pressão de Richards e b) psicrômetro WP4.**

Os pares de dados de umidade e potencial mátrico obtidos nos dois métodos foram ajustados ao modelo de van Genuchten (1980), ou:

$$\theta = (\theta_{sat} - \theta_{res})[1 + (\alpha h)^n]^{-m} + \theta_{res} \quad [1]$$

sendo:  $\theta$  - umidade do solo;  $\theta_{sat}$  - umidade do solo na saturação;  $\theta_{res}$  - umidade residual do solo;  $h$  - tensão da água no solo;  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$  - parâmetros de ajuste.

A distribuição de poros por tamanho foi estimada com base na curva de retenção de água no solo conforme descrito em Libardi (2005).

O cálculo do índice S foi feito conforme Dexter (2004a), ou:

$$S = -n(\theta_{sat} - \theta_{res}) \left[1 + \frac{1}{m}\right]^{-(1+m)} \quad [2]$$

sendo:  $\theta$  - umidade do solo;  $\theta_{sat}$  - umidade do solo na saturação;  $\theta_{res}$  - umidade residual do solo;  $h$  - tensão da água no solo;  $m$  e  $n$ , - parâmetros de ajuste da equação de van Genuchten (1980).

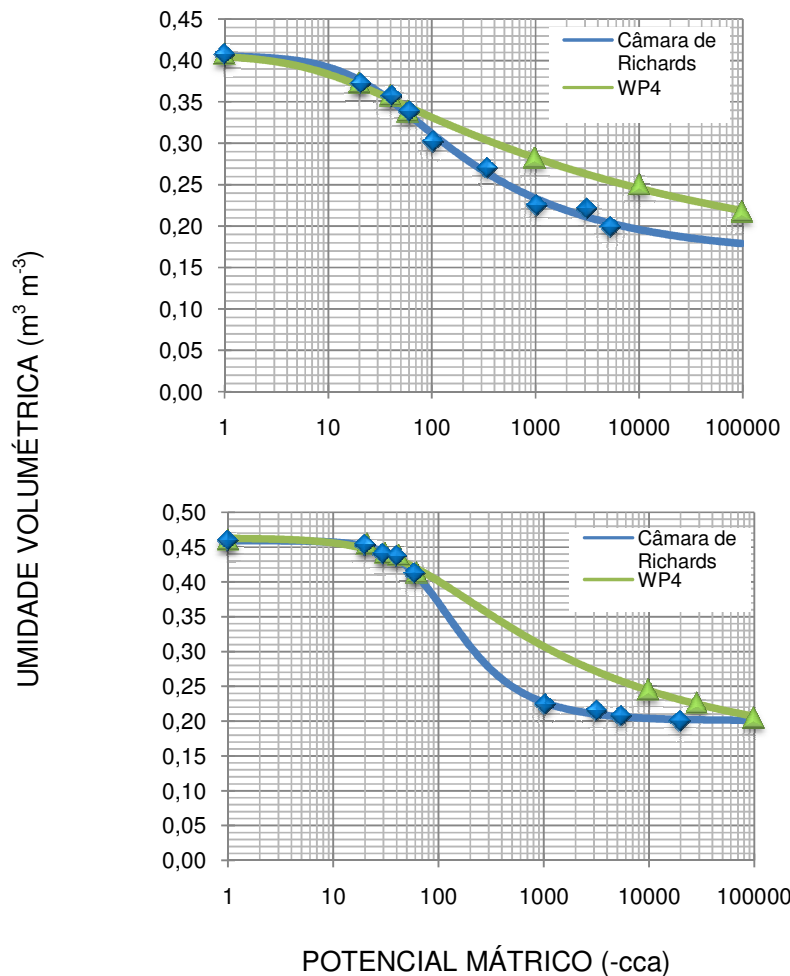
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos de curva de retenção de água no solo elaborados com a câmara de pressão de Richards e com o psicrômetro WP4 para os dois sistemas de manejo avaliados estão apresentados da figura 2. Percebe-se que as mesmas apresentam semelhanças na parte que corresponde aos potenciais medidos da mesa de tensão e nítidas diferenças na faixa que corresponde aos potenciais medidos pela câmara de Richards e pelo psicrômetro WP4. Para valores superiores a 60 cca, as alterações na forma das curvas indicam maiores valores de umidade, para potenciais correspondentes, na curva elaborada pelo psicrômetro WP4.

O método da câmara de Richards, usado como referência neste trabalho, apresenta uma curva com nove pontos para cada sistema, enquanto que a curva elaborada pelo psicrômetro WP4 consta de sete e oito pontos para o sistema MN e CS, respectivamente. Este fato decorreu da impossibilidade encontrada para se estabelecer o equilíbrio entre umidade e temperatura quando da realização das leituras para potenciais muito negativos no psicrômetro WP4.

O número de pontos para a elaboração da curva de retenção de água no solo é uma informação fundamental para a distinção entre elas. Segundo Silva et al. (2006), curvas com menos de oito pontos não podem ser discriminadas estatisticamente e, portanto, também não podem ser comparadas em suas características. Essa pode ser uma desvantagem do psicrômetro WP4, tendo em vista a dificuldade encontrada para se obter o número mínimo de pontos para a uma boa confecção da curva, o que não ocorre com o método padrão de Richards. Por outro lado, essa também pode não ser uma deficiência do equipamento, mas algum tipo de influência relativa ao solo, a exemplo do teor de ferro, que pode ter interferido no funcionamento e proporcionado deficiências no equilíbrio necessário para as leituras, tendo em vista que outras determinações foram feitas, nas quais se conseguiu avaliar um número maior de pontos para elaboração da curva (Klein et al., 2006; Urach, 2007).





**Figura 2. Curvas de retenção de água elaboradas pelos métodos da Câmara de Richards e pelo psicrômetro WP4 para a camada superficial (0 – 0,20 m) do solo em dois sistemas de manejo: a) mata nativa (MN) e b) sistema consorciado cacau + seringueira (CS).**

Mesmo apresentando um número reduzido de pontos foi possível ajustar os dados do psicrômetro WP4 à equação de van Genuchten (1980), cujos parâmetros de ajuste estão apresentados no quadro 1.

**Quadro 1. Parâmetros de ajuste ao modelo de van Genuchten (1980) para curvas de retenção de água no solo elaborada a partir de dois métodos: câmara de Richards e psicrômetro WP4**

Equipamento	$\theta_s$	$\theta_R$	$\alpha$	$n$	$m$	$r^2$
<b>Mata nativa</b>						
	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$					
Câmara de Richards	0,406	0,165	0,037	1,347	0,258	0,992
psicrômetro WP4	0,407	0,145	0,119	1,135	0,119	0,998
<b>Cacau + seringueira</b>						
Câmara de Richards	0,459	0,201	0,012	1,919	0,479	0,999
psicrômetro WP4	0,463	0,157	0,019	1,240	0,193	0,999

$\theta_s$  - unidade do solo na saturação;  $\theta_R$  - unidade residual do solo;  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  - parâmetros de ajuste.

Analisando-se o quadro 1, verifica-se que, para os dois métodos de elaboração da curva de retenção de água no solo, o ajuste obtido ( $r^2$ ) para a equação de van Genuchten (1980) foi próximo a 1 nos dois sistemas de uso e manejo estudados. Os valores de  $\theta_R$  são maiores nos dois sistemas para o método da câmara de Richards. Considerando-se que, na faixa de alta tensão utilizou-se, nos dois métodos, amostras com estrutura deformada, a diferença nos resultados não pode ser atribuída à porosidade, pois segundo Campbell & Gardner (1971) a porosidade não tem efeito marcante em altos potenciais; esta diferença, pode estar associada ao tempo utilizado para a drenagem das amostras nas câmaras de Richards, o qual pode ter sido insuficiente para prover a drenagem de toda a água associada à matriz do solo (Gee et al., 2002).

Da mesma forma, os parâmetros de ajuste 'n' e 'm', também apresentaram maiores valores para o método da câmara de Richards nos dois sistemas de uso e manejo do solo. Segundo Martinez et al. (1995), o parâmetro 'n' está diretamente relacionado com a declividade da curva de retenção de água no solo. Os valores de 'n' (Quadro 2), encontrados nessa avaliação, confirmam esta afirmativa. As curvas do psicrômetro WP4 (Figura 2), cujo valor de 'n', no ajuste foi menor do que para a câmara de Richards, apresentam menor declividade, com tendência linear na faixa de tensão que corresponde aos dados obtidos com este equipamento.

O parâmetro 'm' também foi maior para os dados da câmara de Richards nos dois sistemas. Segundo Portela et al. (2001) a análise do parâmetro 'm' da curva de retenção pode dar uma boa idéia do comportamento da água em termos

de sua condução no solo. Estes autores, estudando a retenção de água no solo sob diferentes usos, observaram que à medida que diminui o teor de umidade no solo, a condutividade hidráulica também diminui em proporções exponenciais.

Para confirmar a influência do valor de 'm' na condutividade hidráulica, tentou-se calcular a condutividade hidráulica relativa ( $K_r$ ) conforme descrito em Libardi & Melo Filho (2001) a partir das curvas ajustadas pela equação de van Genuchten (1980) para os dois métodos. Verificou-se que não foi possível calcular a  $K_r$  para os dados do psicrômetro WP4. Essa impossibilidade decorre dos baixos valores de  $\theta_s$ ,  $\theta_r$  e  $\theta_{60cca}$ , os quais também influenciaram o valor da saturação relativa ( $\omega$ ) inviabilizando o cálculo matemático da  $K_r$ .

A curva de retenção também permite calcular a distribuição do tamanho dos poros no solo (Libardi, 2005). Observando-se os dados apresentados no quadro 2, nota-se que houve diferenças no percentual de poros estimados pelos métodos.

**Quadro 2. Distribuição de macroporos, microporos e criptoporos estimados a partir da câmara de pressão de Richards e pelo psicrômetro WP4 para a camada superficial (0 – 0,20 m) sob os sistemas de uso com mata nativa e consórcio cacau + seringueira**

Equipamentos	Macroporos ( $>50 \mu\text{m}$ )	Microporos ( $0,2-50 \mu\text{m}$ )	Criptoporos ( $<0,2 \mu\text{m}$ )
		%	
		<b>Mata nativa</b>	
Câmara de Richards	17,3	35,5	47,2
WP4	15,4	25,5	59,1
		<b>Cacau + seringueira</b>	
Câmara de Richards	9,6	46,2	44,2
WP4	9,1	39,9	51,0

A macroporosidade estimada foi praticamente igual para os dois métodos, nos dois sistemas de manejo. Quanto à microporosidade, observou-se que os resultados foram menores quando estimados com base na curva elaborada com o psicrômetro WP4 (10% no sistema MN e 6% no sistema CS). A criptoporosidade foi maior para os dados do WP4 (12% para o sistema MN e 7% para o sistema CS). Segundo Klein (1998), os criptoporos são aqueles poros nos quais a água pode permanecer retida com tensões muito altas, sendo, portanto, indisponível às

plantas; corresponde ao volume de água que o solo retém quando o seu potencial matricial se encontra abaixo do ponto de murcha permanente ( $< 1,5$  MPa), e armazenada nos poros com diâmetro inferior a  $0,2 \mu\text{m}$ . A maior estimativa dos criptoporos pelo psicrômetro WP4 se deve as altas tensões que o equipamento alcança, enquanto que, para o método de Richards, este é um valor cuja obtenção somente pode ser realizada por estimativa.

Os dados de porosidade obtidos a partir da curva de retenção elaborada com o psicrômetro WP4 indicam menor capacidade de retenção de água, drenagem e aeração do solo quando comparado aos dados da curva elaborada pelo método da câmara de Richards. De acordo com Letey (1985), a presença de uma rede ideal de poros exerce expressiva influência sobre a fertilidade do solo, afetando as relações entre drenagem, absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração e temperatura, relacionando-se diretamente com o desenvolvimento e produtividade das culturas.

O quadro 3 apresenta o valor do índice S calculado para os dois métodos. Observam-se diferenças no valor de S em função do método utilizado para elaboração da curva de retenção.

**Quadro 3. Parâmetro S para a camada superficial (0 – 0,20 m) sob dois sistemas de manejo calculados a partir da câmara de Richards e pelo psicrômetro WP4**

Sistema de manejo	Valor S	
	Câmara de Richards	WP4
Mata nativa	0,045	0,024
Cacau + Seringueira	0,073	0,043

Os menores valores de S foram para o psicrômetro WP4 (Quadro 3). Considerando-se o objetivo deste trabalho, verifica-se que as diferenças para S entre os métodos foram de 53,33% para a mata nativa e 60% para o sistema consorciado cacau + seringueira. No entanto, também foram observadas diferenças para o mesmo método entre sistemas de uso e manejo, isto mostra que, não obstante as diferenças entre si, os métodos apresentam grau de sensibilidade suficiente para identificar a influencia dos sistemas de manejo nos atributos do solo relacionados ao índice S, podendo discriminar seus efeitos.

De acordo com Dexter (2004), o valor de S acima de 0,035 é indicativo de boa qualidade física do solo. Segundo este limite, o valor de S obtido com a curva

de retenção elaborada com o psicrômetro WP4 para o solo sob mata nativa, indica que o mesmo não apresenta boa qualidade ( $S = 0,024$ ). Em oposição, pelos dados da câmara de Richards, este mesmo solo ultrapassa o limite de 0,035, e apresenta boa qualidade física.

O valor de S apresenta relação direta com o parâmetro 'n' da equação de van Genuchten (1980), conforme constatado por Tormena & Silva (2004). No quadro 1, observam-se que os valores de 'n' para o psicrômetro WP4 são menores em relação aos valores da câmara de Richards para os dois sistemas de uso e manejo, resultando em menor valor de S. Essa diferença foi suficiente para mudar a classe de qualidade do solo no sistema mata nativa, o que demonstra a baixa confiabilidade dos dados do psicrômetro WP4 para a elaboração de curvas de retenção visando a estimativa da qualidade do solo pelo índice proposto por Dexter (2004a). Comprova também a importante relação entre o valor de 'n' e o índice S.

## **CONCLUSÕES**

A curva de retenção de água no solo elaborada pelo psicrômetro WP4 apresenta alterações na forma e nos parâmetros de ajuste relativos à equação de van Genuchten (1980), podendo subestimar atributos e índices de qualidade do solo, não sendo recomendável, portanto, a utilização desse equipamento quando o objetivo for elaborar a curva de retenção para o cálculo do índice S de qualidade e parâmetros do solo associados à mesma.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- CAMPBELL, G. S.; GARDNER, W. H. Psychrometric measurement of soil water potential temperature and bulk density effects. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 35:8-12, 1971.
- CICHOTA, R.; JONG VAN LIER, Q. de. Avaliação no campo de um TDR segmentado para estimativa da umidade do solo. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 8:72-78, 2004.

- CINTRA, F.L.D.; PORTELA, J.C. & NOGUEIRA, L. C. Caracterização física e hídrica em solos dos Tabuleiros Costeiros no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, 8:45-50, 2004.
- DECAGON DEVICES. Operator's manual version 1.3 WP4 dewpointmeter. USA, Decagon Devices. 2000, 70p
- DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma 120:201-214. 2004a.
- DEXTER, A.R. Soil physical quality Part III: Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. Geoderma 120:227-239. 2004b.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos (EMBRAPA – CNPS), 1997. 212p.
- FIDALSKI, J. & TORMENA, C.A. Homogeneidade da qualidade física do solo nas entrelinhas de um pomar de laranjeira com sistemas de manejo da vegetação permanente. R. Bras. Ci. Solo, 31:637-645, 2007.
- GEE, G. W.; WARD, A. L.; ZHANG, Z. F.; CAMPBELL G. S.; MATHISON, J. The influence of hydraulic nonequilibrium on pressure plate data. Vadose Zone Journal, Madison, 1:72-78, 2002.
- KIEHL, E.J. Manual de edafologia: relações solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.
- KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo. 1998. 150 f. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.
- KLEIN, V.A.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, 10:646–650, 2006.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. Advision Soil Science, [S.l.], 1:277-294, 1985.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo. 2005. 344p.
- LIBARDI, P.L. & MELO FILHO, J.F. Influência dos horizontes coesos na dinâmica da água no solo. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS

- COSTEIROS. 2001. Anais. Aracajú, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. 339p.
- SILVA, E.M.da; LIMA, J.E.W.; AZEVEDO, J.A.de; RODRIGUES, L.N. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, 41:323-330, 2006
- MARTINEZ, M.A.; TIMM, L.C.; MARTINS, J.H.; FERREIRA, P.A. Efeito da textura do solo sobre os parâmetros de alguns modelos matemáticos usados para estimar a curva de retenção de água no solo. *Revista Engenharia na Agricultura*, 4:1-9, 1995.
- MORAES, S.O.; LIBARDI, P.L. & DOURADO NETO, D. Problemas metodológicos na obtenção da curva de retenção da água pelo solo. *Sci. agric.*, 50:383-392, 1993a
- MORAES, S.O.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K. & BACCHI, O.O.S. Heterogeneidade dos pontos experimentais de curvas de retenção da água no solo. *Sci. agric.*, 50:393-403, 1993b
- OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S. & CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:327-336, 2004
- OTTO, S.R.L. & ALCAIDE, M. Utilização do método TDR-tensiômetro na obtenção da curva de retenção de água no solo. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 5:265-269, 2001
- PORTELA, J.C.; LIBARDI, P.L. & VAN LIER, Q.J. Retenção de água em solo sob diferentes usos no ecossistema tabuleiros costeiros. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 5:49-54, 2001.
- REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipos e testes. *Ciência Rural*, 36: 2006. Nota
- RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.G.B.F. & SAMPAIO, F.M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras – MG. *Ciênc. agrotec.*, 31:1167-1175, 2007.
- RICHARDS, L. A., Physical conditions of water in soil. In: C. A. BLACK, D. D. EVANS, J. L. WHITE, L. E. ENSMINGE and F. E. CLARK, ed. *Methods of*

- soil analysis - Physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling. Madison, ASASSSA, 1965. p.128-152.
- SARVASI, F.O.C.; VIEIRA, S.R.; CASTRO O.M. & BARBOSA, C.C. Curvas de retenção de água, por tensiometria, para dois solos da região de Alfena (MG). *Pesq. agropec. bras.*, 27:893:900. 1992
- SILVA, E.M., AZEVEDO, J.A. Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, 37:1487-1494. 2002.
- SILVA, A.P. Interação manejo x física. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., Santa Maria, 2004. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. CD – ROM
- SILVA, E.M.; LIMA, J.E.F.W.; AZEVEDO, J.A. & RODRIGUES, L.N. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, 41:323-330, 2006
- SPERA, S.T.; REATTO, A.; CORREIA, J.R. & SILVA, J.C.S. Características físicas de um Latossolo Vermelho-escuro No cerrado de planaltina, DF, submetido à ação do fogo. *Pesq. agropec. bras.*, 35:1817-1824, 2000
- TORMENA, C.A. & SILVA, A.P. Avaliação da qualidade física de um solo utilizando o parâmetro S. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 15., 2004. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. CD – ROM
- URACH, F.L. Estimativa da retenção de água em solos para fins de irrigação. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 79p. (Dissertação de Mestrado)
- van GENUCHTEN, M. Th. A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44:892-898, 1980.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A influência da qualidade do solo sobre o potencial agrícola, produtividade e sustentabilidade, torna seu estudo essencial para a avaliação dos sistemas de manejo, e importante para subsidiar a definição de técnicas a serem utilizadas visando aumentar a produtividade, ou mantê-la, quando esta se encontra em níveis considerados satisfatórios.

As discussões sobre a qualidade do solo e as metodologias para sua avaliação vêm sendo realizadas e propostas há algumas décadas. Os métodos quantitativos têm demonstrado grande aplicabilidade nas condições de uso do solo em ambiente tropical e os que foram comparados neste estudo refletiram, com confiabilidade, o grau de qualidade do solo nos sistemas estudados, constituindo-se em ferramentas úteis para a avaliação e monitoramento da qualidade do solo; apresentaram também facilidade de aplicação e interpretação dos resultados.

A utilização de equipamentos eletrônicos como o psicrômetro WP4 nos estudos relativos ao comportamento da água no solo, tem obtido bons resultados. No entanto, as curvas de retenção quando elaboradas por este equipamento apresentou alterações significativas na declividade e parâmetros de ajuste à equação de van Genuchten, o que exige critérios para sua utilização quando o objetivo for o cálculo de índices de qualidade do solo associados à curva de retenção de água.