



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

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE QUALIDADE DO  
SOLO EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA SOB PASTAGEM NO  
SEMIÁRIDO BAIANO**

**NELSON VIEIRA DA SILVA FILHO**

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA**

**OUTUBRO - 2010**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE QUALIDADE DO  
SOLO EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA SOB PASTAGEM NO  
SEMIÁRIDO BAIANO**

**NELSON VIEIRA DA SILVA FILHO**

Engenheiro Agrônomo  
Universidade Federal da Bahia, 2002

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: Profº Dr. José Fernandes de Melo Filho**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2010

### FICHA CATALOGRÁFICA

S586 Silva Filho, Nelson Vieira da.  
Variabilidade espacial de atributos de  
qualidade do solo em uma toposseqüência sob  
pastagem no semiárido baiano. / Nelson Vieira da  
Silva Filho. \_. 2010.  
64 f; il.

Orientador: José Fernandes de Melo Filho.

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

1. Solos – Bahia – Semiárido. 2. Hidrologia agrícola.  
3. Solos – manejo. I. Universidade Federal do Recôncavo da  
Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.  
II. Título.

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 DO ALUNO  
NELSON VIEIRA DA SILVA FILHO

*J. Fernandes*

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

*Luciano da Silva Souza*

Prof. Dr. Luciano da Silva Souza  
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas - UFRB

*Adailde do Carmo Santos*

Prof.<sup>a</sup> Dra. Adailde do Carmo Santos  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano

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

*“A paz em nós não resulta de circunstâncias externas e sim da nossa tranqüilidade de consciência no dever cumprido e é preciso anotar que o dever cumprido é fruto da compreensão”*

Francisco Candido Xavier

A minha mãe, Jacyra Vieira da Silva (“*in memoriam*”) e meu pai Nelson Vieira da Silva (“*in memoriam*”) pelo amor e ensinamentos durante o tempo que vivemos juntos.

### **DEDICO**

A minha querida esposa **Neia**,  
companheira de todas as horas, pelo amor  
puro e incondicional, e a minha amada filha  
**Júlia**, que com sua existência me ergue  
diante de cada obstáculo.

### **OFEREÇO**

## **Agradecimentos**

A Deus, pelo dom da vida, pelo seu infinito amor e pelas graças que todos os dias nos envia. Obrigado Senhor!

Aos meus amados pais, por todo amor e carinho que me dedicaram no decorrer da minha vida, enquanto estivemos juntos;

Ao professor Dr. José Fernandes de Melo Filho pela orientação na condução deste trabalho e, mais que isso, por toda a paciência, confiança e amizade a mim dispensadas. Às horas de sua vida dedicadas a mim, pelo grande incentivo e ajuda em tudo que fiz;

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

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano – Campus Santa Inês, pelo apoio no desenvolvimento desse trabalho;

À Fazenda Mombitaba, na pessoa do Sr. Roque e Dr. Henrique, por disponibilizar a área para que fosse realizado o estudo;

Ao meus amados irmãos, Célia, Antonio Augusto, Roberto e Ivani, pelo apoio nos momentos de dificuldade;

A minha estimada Tia Leta, minha segunda mãe, pela preocupação e orações;

Aos meus cunhados (as), sobrinhos (as) e amigos, que sempre torceram por mim e se alegram com a conclusão deste curso;

Aos mestres Luciano da Silva Souza, Washigton Duete e Joelito Rezende, pelo tempo dedicado a mim;

Ao professor Odair Del' Arco Vinhas Costa, pela grandíssima ajuda na descrição dos perfis;

Aos funcionários dos Laboratórios de Física e Química do Solo, Ailton Boa Sorte e especialmente a José Bastos, pois sem sua ajuda não conseguiria realizar minhas análises;

Aos funcionários dos Laboratórios de Física do Solo da EMBRAPA - Mandioca e Fruticultura, Roque e Helder, pela ajuda na realização das análises;

Ao Dr. Laércio Duarte Souza pela permissão no uso do laboratório de física do solo da EMBRAPA- Mandioca e Fruticultura;

Aos colegas de mestrado Adriana Martins, Francisco Genésio, Marcão, Erivaldo, Adriana, Marcela, Cácio, Joctã, pelo companheirismo e amizade.

Ao colega Danívio, pela ajuda na construção dos mapas;

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

*Muito obrigado!*



## SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO.....	01
Capítulo 1	
QUALIDADE DO SOLO EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA SOB PASTAGEM NO SEMIÁRIDO BAIANO.	07
Capítulo 2	
VARIABILIDADE ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA E MACROPOROSIDADE DO SOLO EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA SOB PASTAGEM NO SEMIÁRIDO BAIANO.	28
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
ANEXOS.....	46

# VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE QUALIDADE DO SOLO EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA SOB PASTAGEM NO SEMIÁRIDO BAIANO

**Autor : Nelson Vieira da Silva Filho**

Orientador: D.Sc. José Fernandes de Melo Filho

**RESUMO:** O solo é parte integrante do ambiente e expressa os efeitos combinados dos fatores de formação material de origem, clima, organismos, relevo e tempo, cujas ações e magnitude provocam alterações que se refletem nos atributos. Dentre esses fatores, o relevo destaca-se por estar associado com a variabilidade espacial de importantes atributos de qualidade do solo. Este estudo foi realizado em uma área sob pastagem localizada na Fazenda Mombitaba, no Município de Santa Inês – BA, com o objetivo de avaliar o efeito do relevo nos indicadores e índice de qualidade do solo, e caracterizar a variabilidade espacial da condutividade hidráulica saturada e macroporosidade em uma topossequência, onde se identificaram as seguintes classes de solos: Topo: Latossolo Amarelo Distrófico típico; terço médio: Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, e terço inferior: Neossolo Flúvico Tb Eutrófico típico. As amostras foram coletadas em três malhas medindo 6 x 22 m, com espaçamento de 2 metros entre pontos. Verificou-se que o relevo influenciou nos indicadores químicos, físicos, IQS e funções principais, discriminando o potencial e as limitações das diferentes classes de solos na paisagem. A composição do índice global de qualidade (IQS) foi influenciada pelo relevo, notadamente no topo e terço médio, onde, respectivamente, predominaram as funções CAA e CRP. Observou-se que o padrão da variabilidade espacial, o alcance e o grau de dependência espacial foram influenciados pela posição no relevo, com diferenças entre os atributos avaliados. Em relação à  $K_0$  observou-se efeito pepita puro, não sendo possível identificar a estrutura de sua variabilidade e dependência espacial. Quanto a  $M_p$  observou-se efeito pepita pura no topo, com estrutura de variabilidade espacial influenciada pelo relevo nos terços médio e inferior.

**Palavras-chaves:** Relevo, influência, propriedades do solo

## **SPATIAL VARIABILITY OF SOIL QUALITY ATTRIBUTES ON A TOPOSEQUENCE LOCATED IN THE SEMI-ARID REGION OF BAHIA STATE, BRAZIL.**

**ABSTRACT:** Soil is an integral part of the environment and shows the combined effects of different factors: parent material, climate, organisms, relief and weather, in which actions and magnitude cause changes that is reflected in the characteristics attributes. Among the formation factors the relief stands out to be associated with spatial variability of important soil quality attributes. The study was carried out in soil under pasture, in Mombitaba farm, in Santa Ines – BA. The aim of this work was to evaluate the effect of the relief on the indicators and soil quality index, even as characterize spatial variability of saturated hydraulic conductivity and macroporosity on a toposequence located in the semi-arid region of Bahia. The following classes of soils were indentified: upper third, typical dystrophic Yellow Latosol; medium third, Ultisol; and in the lower third, Typical Tb Entropic Fluvic Neosol. The samples were collected from three grids of 6 x 22 m, with a regular distance of 2 m between points. It was found that the landscape influences the indicators chemists, physicists, QSI and main tasks, discriminating the potential and limitations of different classes of soils in the landscape. The composition of the global quality index (SQI) was influenced by relief, especially at the top and middle third, where, respectively, the predominant functions CAA and CRP. It was observed that the pattern of spatial variability, the extent and degree of spatial dependence were affected by the relief position, with differences between attributes. Regarding the observed  $K_0$  pure nugget effect, it is not possible to identify the structure of its variability and spatial dependence. As the MP observed pure nugget effect at the top with the spatial variability structure influenced by the relief in the middle and lower.

**keywords:** relief, influence, soil properties

## INTRODUÇÃO

O solo é parte integrante do ambiente e expressa os efeitos combinados dos seguintes fatores: material de origem, clima, organismos, relevo e tempo. Segundo Palmieri & Larach (2004) a ação desses fatores provoca alterações que se refletem nas características morfológicas e/ou nas propriedades químicas, físicas e mineralógicas dos solos.

O relevo é considerado como agente modificador dos demais fatores de formação do solo por isso Buol et al. (1980) afirmam que o mesmo pode ser considerado um fator de formação independente.

Os processos de remoção e deposição influenciados pelo relevo resultam na variabilidade espacial e temporal de importantes indicadores de qualidade do solo (Ross, 2004; Palmieri & Larach, 2004). Marques Júnior & Lepsch (2000) e Wang et al. (2002) afirmam que pequenas variações no gradiente do declive são suficientes para provocar variabilidade nos atributos do solo. Isso foi confirmado por Souza & Pereira (2004), quando estudaram a variabilidade espacial da matéria orgânica e a estabilidade de agregados em diferentes relevos.

Campos et al. (2007) ao estudar as relações solo-paisagem em uma topossequência sobre arenito-basalto, na região de Pereira Barreto-SP, verificaram que a compartimentação da paisagem em superfícies geomórficas mostra-se bastante eficiente para o entendimento da variação dos atributos do solo. Portanto, a topossequência, ao permitir uma visão global e integrada dos componentes da paisagem, revela-se como ambiente ideal para a avaliação da pedogênese e qualidade do solo como meio de desenvolvimento de plantas (Alves & Ribeiro, 1995).

De acordo com Ross (2004) a orientação da encosta bem como a posição topográfica dos solos tem influência na reação do solo e no grau de intemperização. O processo de intemperismo e erosão que ocorrem pela ação do vento, da variação térmica e da água, transformam minerais primários em secundários e, simultaneamente, esculpem as formas de relevo (Ross, 2004). Segundo Palmieri & Larach, (2004) em superfícies mais suaves, os solos, são mais profundos e apresentam, em geral, nítida diferenciação entre horizontes principais, enquanto que nas encostas mais íngremes apresentam-se solos mais rasos com menor diferenciação entre os horizontes principalmente, devido ao

acentuado escoamento superficial de água, que favorece a remoção do material edafizado.

O relevo influencia nas diferentes distribuições da umidade e temperatura, além da exposição da superfície terrestre ao sol, tanto quanto na intensidade dos processos de remoção de sólidos e solutos (erosão e lixiviação), sendo também um condicionador dos importantes fenômenos de transporte e acúmulo (Fanning & Fanning, 1989), sendo, por isto, fundamental para o entendimento da variabilidade das principais propriedades dos solos (Souza et al., 2003).

Segundo Karlen et al. (1994) cada solo tem uma habilidade natural para funcionar, definida por um conjunto de valores que refletem o seu máximo potencial para realizar uma função específica.

Se um determinado solo está funcionando de acordo com o seu máximo potencial para um determinado uso, ele terá excelente qualidade, se não, o seu potencial pode ter sido afetado pelo uso ou manejo, ou o solo naturalmente possui baixa qualidade.

Os atributos do solo, após sofrerem alterações provocadas pelas atividades agrícolas e/ou processos naturais, a exemplo da erosão, comportam-se de forma bastante diferenciada ao longo da paisagem, o que resulta em diferenciação das suas características (Carvalho, 1981) e da sua qualidade para a produção agrícola (Fanning & Fanning, 1989; Silva et al., 2001).

A avaliação da qualidade do solo pode ser realizada pelo monitoramento de seus atributos físicos, químicos e biológicos (Santana & Bahia Filho, 1998). Existem diversas proposições de métodos e modelos para avaliação da qualidade do solo. Todas são conceitualmente similares e derivam daquelas propostas para determinação dos índices de produtividade (Chaer, 2001). Dentre essas proposições, as que consideram a integração de um conjunto de indicadores de natureza química, física e biológica para obtenção de um índice confiável são as melhores (Doran & Parkin, 1994 ; Karlen & Stott, 1994).

Karlen e Stott (1994) sugerem um modelo baseado em conceitos relacionados com sistemas de engenharia, desenvolvidos por Wymore (1993), como suporte para a tomada de decisão nas investigações de problemas ambientais. A metodologia apresenta uma estrutura de cálculo onde são estabelecidas as funções principais e seus respectivos indicadores de qualidade, com pesos predefinidos para ponderação, combinando diferentes funções e indicadores para determinação de um

índice de qualidade do solo (IQS). Nesse caso, os valores do IQS variam na escala de 0 a 1, sendo que quando o IQS é zero, ou um valor próximo, indica limitações ou baixa qualidade do solo, enquanto que valor de IQS igual a 1 indica um solo com alta qualidade para a função avaliada.

A qualidade do solo e sua avaliação devem ser usadas como uma proposta de um indicador integrado da qualidade ambiental para sustentabilidade de ecossistemas agrícolas e naturais, de forma que aumente ou conserve suas qualidades, aumentando assim não só a produtividade das culturas, como também contribuindo para manter a qualidade ambiental (Kennedy & Papendick, 1995).

Os trabalhos de Glover et al. (2000), Chaer (2001), Souza et al. (2003), Souza (2005), Menezes (2005), Dias (2006), Silveira (2007) e Conceição (2008), definiram a metodologia Karlen & Stott (1994), ferramenta prática e adequada para identificar funções principais e indicadores limitantes, orientando intervenções técnicas visando melhorá-los. Precisa e deve ser adequadamente testada e difundida para uso nas avaliações relativas ao manejo sustentável dos solos em regiões tropicais. Souza et al. (2003) aplicaram o IQS em um estudo de caso com enfoque na produção de citros em solos coesos dos Tabuleiros Costeiros e concluíram que o método é prático e adequado para estimar o índice de qualidade do solo. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a variabilidade espacial para atributos de qualidade do solo em três classes de solos de uma topossequência sob pastagem no semiárido baiano.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A.J.O. & RIBEIRO, M.R. Caracterização e gênese dos solos de uma topossequência na microrregião da mata seca de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.297-305, 1995.

BUOL, S. W.; HOLE, F.D. & McCRAKEN, R. J. **Soil genesis and classification**. 2.ed. Ames, Iowa States University Press, 1980. 406p.

CAMPOS, M. CC., JÚNIOR, J. M., PEREIRA, G. T., MONTANARI, R. & CAMARGO, L. A. Relações solo-paisagem em uma litossequecia arenito-basalro na Região de Pereira Barreto, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.519-529, 2007.

CARVALHO, W. A. **Relações entre relevo e solos da bacia do Rio Capivara município de Botucatu, SP.** 1981. 193 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 1981.

CONCEIÇÃO, B. P. S. **Métodos para avaliação da qualidade do solo em ambiente tropical.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2008, 54p.

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.

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).

FANNING, D. S. & FANNING, M. C. B. **Soil, morphology, genesis and classification.** New York, John Wiley & Sons, 1989. 395p.

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.

KENNEDY, A.C. & PAPENDICK, R.I. Microbial characteristics of soil quality. **Journal of soil and water conservation**, v.50, n.3, p.243-248, 1995.

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 American/American Society of Agronomy, 1994. p.53-71. (SSSA Spec. Publ. No. 35).

MARQUES JÚNIOR, J. & LEPSCH, I.F. Depósitos superficiais neocenozóicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto, SP. **Geociências**, v.19, p.265-281, 2000.

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.

PALMIERI, F. & LARACH, J. O. I. Pedologia e geomorfologia In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. Geomorfologia e meio Ambiente. 5ª ed. Rio de Janeiro: **Bertrand Brasil**, 2004. 59-122p.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs. In: guerra, a. j. t.; cunha, s. b. da. **Geomorfologia e meio Ambiente**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 291-336p.

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. **Anais**. Montpellier. Montpellier: ISSS, 1998. CD-ROM.

SILVA, M. B. et al. Estudo de toposseqüência da baixada litorânea fluminense: efeitos do material de origem e posição topográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.25, p. 965-976, 2001.

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, C.K; MARQUES JÚNIOR, J; MARTINS FILHO, M. V. & PEREIRA, G.T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1067-1074, 2003.

SOUZA, J. MARQUES. JUNIOR, & PEREIRA, G. T. P. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.39, n.5, p.491-499, 2004.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T. & BARBIERI, D.M. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. **Science Agricola**, 63:161-168, 2006.

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.

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, 2003. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD – ROM.

WANG, G. et al. Spatial uncertainty prediction of the topographical factor for the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.45, n.1, p.109-118, 2002.

WYMORE, A.W. **Model-based systems engineering**: An introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricotyledon theory of system design. CRC Press, Boca Raton, FL, 1993.

## **CAPÍTULO 1**

### **QUALIDADE DO SOLO EM UMA TOPOSEQUÊNCIA SOB PASTAGEM NO SEMIÁRIDO BAIANO**

---

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

## QUALIDADE DO SOLO EM UMA TOPOSSEQÜÊNCIA SOB PASTAGEM NO SEMIÁRIDO BAIANO

**RESUMO:** O solo é um componente ambiental complexo e dinâmico que se encontra em constante transformação. Importante para manutenção da vida e dos ecossistemas, resulta da interação de fatores e processos, cuja magnitude de ação lhe confere grande variação espacial. Dentre os fatores de formação, o relevo destaca-se por estar associado com a variabilidade espacial e temporal de importantes atributos de qualidade do solo. Este estudo foi realizado em uma área sob pastagem localizada na Fazenda Mombitaba, no Município de Santa Inês – BA, com o objetivo de avaliar o efeito do relevo nos indicadores e índice de qualidade do solo em uma toposseqüência localizada no semiárido baiano, onde se identificou as seguintes classes de solos: topo - Latossolo Amarelo Distrófico típico; terço médio - Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, e terço inferior - Neossolo Flúvico Tb Eutrófico típico. As amostras foram coletadas em três “grades” medindo 6 x 22 m, com espaçamento de 2 metros entre pontos. Para a determinação do IQS foram avaliados 11 (onze) indicadores de qualidade: macroporosidade, densidade do solo, condutividade hidráulica saturada, relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total (Uv33/PT) e relação água disponível/porosidade total (AD/PT), pH, resistência do solo à penetração (RP), capacidade de troca catiônica (CTC), percentagem de saturação por bases (V%), percentagem de saturação por alumínio (m%) e matéria orgânica (MO), agrupados em três funções principais: 1) crescimento radicular em profundidade; 2) condução e armazenamento de água; e 3) suprimento de nutrientes. O relevo influenciou nos indicadores químicos e físicos, no valor do IQS e das funções principais, discriminando o potencial e as limitações das diferentes classes de solos na paisagem. A composição do índice global de qualidade (IQS) foi influenciada pelo do relevo, notadamente no topo e terço médio, onde, respectivamente, predominaram as funções CAA e CRP.

**Palavras-chaves:** Relevo, influência, propriedades do solo

## **SOIL QUALITY ON A TOPOSEQUENCE LOCATED IN THE SEMI-ARID REGION OF BAHIA STATE, BRAZIL.**

**SUMMARY:** Soil is a complex and dynamic environmental component in constant transformation. It's important for maintenance of life and ecosystems resulting from the interaction of factors and processes, in which the magnitude of action gives it a great feature variation spatial. Among the formation factors the relief stands out to be associated with spatial and temporal variability of important soil quality attributes. The study was carried out in soil under pasture, in Mombitaba farm, in Santa Ines – BA. The aim of this work was to evaluate the effect of the relief on the indicators and soil quality index on a toposequence located in the semi-arid region of Bahia. The following classes of soils were indentified - upper third, typical dystrophic Yellow Latosol; medium third, Ultisol; and in the lower third, Typical Tb Entropic Fluvic Neosol. The samples were collected from three grids of 6 x 22 m, with a regular distance of 2 m between points and to determinate the soil quality index were evaluated 11 (eleven) quality indicators: macroporosity, bulk density, saturated hydraulic conductivity,  $UV_{33KPa}/PT$  and  $AD/PT$ , pH, soil resistance to root penetration, CTC, V%, m% and MO. They were grouped into three main functions: 1) root growth in depth, 2) conduction and water storage and 3) nutrients supply. The chemical and physical indicators, IQS and the main functions were influenced by the relief showing the potential and limitations of different classes of soils in the landscape, as well as, the composition of the global quality index was influenced by topography, especially at the upper and middle third, in which, the functions conduction and water storage and root growth in depth were predominant, respectively.

**Keywords:** relief, influence, soil properties

## INTRODUÇÃO

O solo é um componente ambiental complexo e dinâmico que se encontra em constante transformação. Importante para manutenção da vida e dos ecossistemas, resulta da interação de fatores e processos, cuja magnitude de ação lhe confere variação das características na paisagem (Gliessman, 2005).

Dentre os fatores de formação, o relevo destaca-se por estar associado com a variabilidade espacial e temporal de importantes atributos de qualidade do solo (Montanari et al., 2005; Canelas et al., 2000; Coelho et al., 2010; Camargo et al., 2010), sendo, por isso, determinante no regime hídrico e nos processos de perdas, adição e transporte de sólidos ou de materiais em solução, o que resulta em diferenciação das características do solo (Carvalho, 1981) e da sua qualidade para a produção agrícola (Fanning & Fanning, 1989; Silva et al., 2001).

Marques Júnior & Lepsch (2000) e Wang et al. (2002) afirmam que pequenas variações no gradiente do declive são suficientes para provocar variabilidade nos atributos do solo. Isso foi confirmado por Souza & Pereira (2004), quando estudaram a variabilidade espacial da matéria orgânica e a estabilidade de agregados em diferentes relevos.

Com este objetivo Demattê et al. (1996) estudaram as características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas de cinco perfis em uma toposseqüência de solos originados do sedimento Barreiras e verificaram que o relevo influenciou a drenagem dos perfis e foi determinante no desenvolvimento de características especiais diferenciais, tipo fragipã, duripã e lamelas de óxidos de ferro.

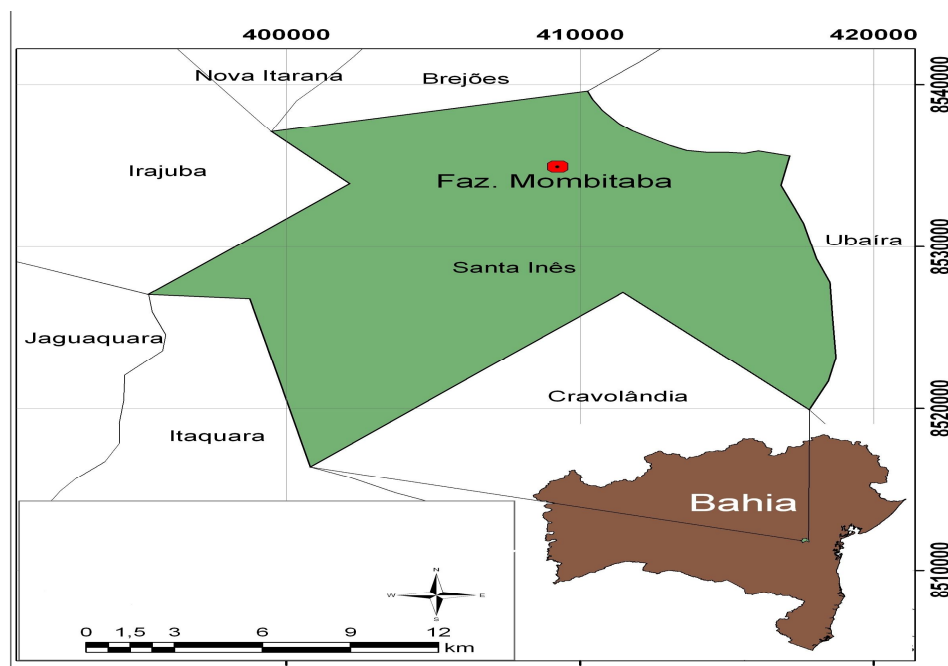
Outra conclusão importante foi apresentada por Teramoto et al. (2001). Segundo esses autores, o relevo influencia principalmente na diferenciação dos atributos morfológicos do solo. Reis et al. (2009), por sua vez concluíram que, as características químicas do solo variam entre as posições no relevo, demonstrando que os solos apresentam potencialidades agronômicas diferentes ao longo de uma toposseqüência. Cedia et al. (2009) verificaram forte influência do relevo nos conteúdos de argila e retenção de água no solo. Nos dois casos, verificou-se também que a correlação entre altitude e atributos do solo é negativamente afetada pelo aumento da sua profundidade, sendo mais uniforme quanto maior for a profundidade de amostragem.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da topografia nos indicadores e índice de qualidade do solo em uma toposseqüência localizada no semiárido da Bahia.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição e localização da área

A área em estudo é uma toposseqüência sob pastagem, localizada na Fazenda Mombitaba, no Município de Santa Inês – BA, cujas coordenadas geográficas são 13°20'30'' de latitude Sul e 39°49'20'' de longitude Oeste, com altitude média de 398 m (Figura 1). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo semiárido (BS), com temperatura média anual de 22,8°C, sendo a máxima de 27,7°C e mínima de 18,8°C, pluviosidade média anual de 628 mm, e mínima de 328 mm; sua topografia é fortemente ondulada e está situada na cabeceira do Rio Jiquiriçá.



**Figura 1. Localização da Fazenda Mombitaba, no Município de Santa Inês-BA**

Para caracterização e descrição dos perfis, foram abertas três trincheiras localizadas no topo, terço médio e inferior da toposseqüência, conforme Santos et al.

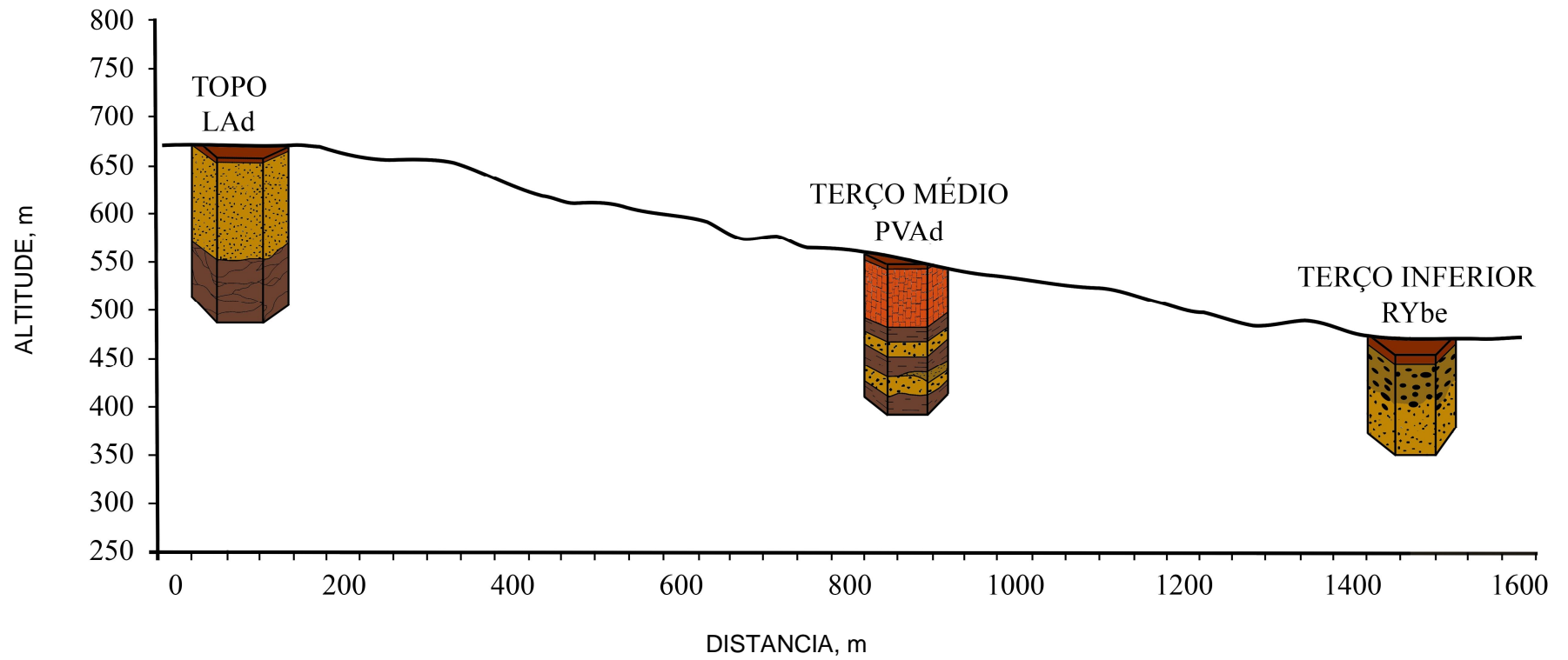
(2005). A classificação dos solos foi realizada segundo SIBCS (EMBRAPA, 2006.), identificando-se Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) no topo, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd) no terço médio e Neossolo Flúvico Tb Eutrófico (RYbe) no terço inferior (Figura 2).

### **Amostragem do solo**

Foram coletadas amostras de solo, deformadas e indeformadas, na profundidade de 0 - 0,20 m, utilizando-se, respectivamente, trado tipo holandês e extrator de solo tipo Uhland, com anéis de diâmetro de 5,0 cm, altura de 5,2 cm e volume de 102,10 cm<sup>3</sup>. As áreas de amostragem foram o terço superior (LAd); terço médio (PVAd) e terço inferior (RYbe) da topossequência, nas quais foram marcados grides medindo 6 x 22 m, com espaçamento de 2 metros entre pontos, totalizando 48 pontos de amostragem por "grid".

### **Determinações físicas e químicas e avaliação do IQS**

O modelo utilizado para avaliar o índice de qualidade do solo foi o proposto por Karlen & Stott (1994), conforme descrito em Melo Filho et al. (2007). Foram avaliados 11 (onze) indicadores de qualidade: macroporosidade (Mp); densidade do solo (DS); condutividade hidráulica em solo saturado ( $K_0$ ); relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total ( $UV_{33kPa}/PT$ ) e relação água disponível/porosidade total ( $AD/PT$ ); pH; resistência do solo à penetração ( $RP_{100kPa}$ ); capacidade de troca catiônica (CTC); percentagem de saturação por bases (V%); percentagem de saturação por alumínio (m%) e matéria orgânica (MO). Os métodos analíticos utilizados foram: porosidade total, macro e microporosidade e densidade do solo (Embrapa, 1997); retenção de água (Kiehl, 1979); condutividade hidráulica em um solo saturado pelo método do permeâmetro de carga decrescente (Libardi, 2005); pH, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e saturação por alumínio (Embrapa, 1997); matéria orgânica pelo método Walkley & Black, descrito em (Raij et al., 2001). Para a resistência do solo à penetração ( $RP_{100kPa}$ ) foi utilizado o penetrômetro estático de laboratório modelo MA- 933. Para tanto, as amostras foram saturadas por 24 horas e depois submetidas a uma pressão de 100kPa em câmaras de pressão de Richards.



**Figura 2. Perfil topográfico, superfícies geomorfológicas e localização das classes de solos estudadas**



Após atingirem o equilíbrio, foram submetidas ao teste de resistência à penetração em penetrográfo eletrônico estático. Os dados experimentais de resistência à penetração foram obtidos em  $\text{kgf cm}^{-2}$  e depois multiplicados pela constante 0,098 para transformação em MPa, conforme Beutler et al. (2001).

Os valores do IQS variam na escala de 0 a 1, sendo 0,5 o limite entre as classes, alto e baixo, de qualidade do solo. Segundo Karlen & Stott (1994) quando o resultado é acima de 0,5 o solo apresenta alta qualidade para a função avaliada. Quando o valor do IQS é menor do que 0,5 o solo apresenta limitações e baixa qualidade. Entretanto, os resultados foram enquadrados de acordo com a classificação proposta por Souza (2005), na qual para  $\text{IQS} \leq 0,5$  = qualidade ruim;  $0,5 < \text{IQS} \leq 0,7$  = qualidade média;  $0,7 < \text{IQS} \leq 1,0$  = qualidade ótima, considerada como mais adequada para solos tropicais.

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

### **Determinação dos ponderadores para funções principais e indicadores de qualidade.**

Os indicadores de qualidade utilizados para a composição do índice global foram agrupados em três funções principais (Quadro 2), quais sejam: CRP - Crescimento radicular em profundidade; CAA - Capacidade de Armazenamento de Água; SN - Suprimento de nutrientes (Quadro 2). Os pesos e ponderadores para integração das contribuições individuais na formação dos índices de cada função e total foram estabelecidos com base nas exigências da gramínea *Brachiária decumbens*, considerada por Werner et al. (1996) como de baixa exigência e tolerante a acidez e elevada saturação de alumínio condições de solos ácidos, com alto conteúdo de alumínio.

**Quadro 1. Funções principais e indicadores utilizados para avaliação da qualidade nas classes de solos e posições no relevo de uma topossequência no semiárido da Bahia**

Funções	Ponderadores das funções	Indicadores de qualidade(2)	Ponderadores dos indicadores	Limites críticos		Referências dos limites críticos
				Inferior	Superior	
CRP	0,20	RP <sub>100 kPa</sub> (MPa)	0,40		2,50	Imhoff et al (2000)
		MP (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,25	0,10	0,30	Carter (2002)
		Ds (kg dm <sup>-3</sup> )	0,25	1,59		Souza et al. (2003)
		m (%)	0,10		30	Alvarez & Ribeiro (1999)
CAA	0,50	K <sub>0</sub> (cm h <sup>-1</sup> )	0,20	2,00	20	Lepsch (1991)
		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)
SN	0,30	pH em água	0,10	5,0	6,5	Alvarez et al. (1999)
		CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,35	4,0		Lepsch (1991)
		V (%)	0,35	40		Alvarez e Ribeiro (1999)
		MO (dag kg <sup>-1</sup> )	0,20	15		C.E.F Solo (1989)

<sup>(1)</sup>CRP =Crescimento Radicular em Profundidade; <sup>(1)</sup>CAA = Capacidade de Armazenamento de Água; <sup>(1)</sup>SN = Suprimentos de Nutrientes

<sup>(2)</sup> RP<sub>100kPa</sub> = resistência do solo à penetração à 100kPa de tensão na umidade do solo; <sup>(2)</sup> MP = macroporosidade do solo; <sup>(2)</sup> Ds = densidade do solo; <sup>(2)</sup> m = saturação por alumínio; <sup>(2)</sup> K<sub>0</sub> = condutividade hidráulica do solo saturado; <sup>(2)</sup> UV<sub>33kPa</sub>/PT = relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total; <sup>(2)</sup> AD/PT = relação água disponível/porosidade total; <sup>(2)</sup> CTC = capacidade de troca catiônica; <sup>(2)</sup>V = saturação por bases e <sup>(2)</sup> MO = matéria orgânica. Fonte: Modificado de Souza et al. (2003).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características morfológicas dos três perfis indicaram a seguinte seqüência de classes de solo na toposseqüência estudada: Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) no topo; PVAd - Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico no terço médio da encosta e, Neossolo Flúvico Tb Eutrófico (RYbe) no terço inferior. O LAd apresenta-se com horizonte A moderado, textura argilosa, fase caatinga, relevo suave ondulado; o PVAd apresenta-se com A moderado, textura argilosa, fase caatinga, relevo ondulado e o RYbe apresenta-se com A moderado, textura franco-argilo-arenosa, fase caatinga, relevo plano. Resultados das análises físicas e químicas dos perfis estudados.

Nessas condições, verifica-se que os indicadores de qualidade tiveram a sua distribuição no ambiente influenciada pelo relevo e apresentaram diferenças estatísticas em função da sua posição topográfica (Quadro 2). Os valores médios de pH aumentaram no sentido do topo para o terço inferior, passando de acidez forte para moderada, respectivamente (Embrapa, 2006). Essa situação deve-se ao acúmulo, na parte baixa da encosta, das bases que são removidas do topo, além dos baixos teores de H + Al, naturalmente observados em solos de regiões semiáridas (Corrêa et al., 2003; Chaves et al., 1998). No terço médio o valor do pH, mostra-se em condição intermediária às duas posições extremas, o que pode ser explicado pela menor intensidade de lixiviação de bases em relação ao topo.

Assim como para o pH, observam-se que os valores médios da capacidade de troca catiônica (CTC) apresentaram diferença significativa entre as posições, (Quadro 2), com tendência de queda do topo para o terço médio e aumento do valor deste para a base. Considerando a importância da matéria orgânica na composição da CTC de solos tropicais e a baixa atividade da argila predominante nestes solos, verifica-se que os valores da CTC estão fortemente influenciados pelos conteúdos de MO (Araújo et al., 2007), cuja variação na toposseqüência segue o mesmo padrão da CTC, diminuindo da zona de remoção, na parte superior, e aumentando na zona de deposição, na base da encosta.

A saturação por bases reflete o somatório dos teores dos nutrientes em relação à CTC. Tem forte relação com a produtividade das culturas e, conseqüentemente, com a qualidade do solo para o fornecimento de nutrientes as

**Quadro 2. Valores médios dos indicadores químicos e físicos de qualidade na profundidade de 0,0 a 0,20 m para as três classes de solos e posições do relevo em uma topossequência sob pastagem no semi-árido da Bahia**

<b>pH H2O</b>	<b>CTC</b>	<b>V</b>	<b>MO</b>	<b>m</b>	<b>Ds</b>	<b>RP<sub>100kPa</sub></b>	<b>MP</b>	<b>PT</b>	<b>UV<sub>33kPa</sub>/PT</b>	<b>AD/PT</b>	<b>K<sub>0</sub></b>
	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%	dag kg <sup>-1</sup>	%	g cm <sup>-3</sup>	MPa	_____m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> _____				cm h <sup>-1</sup>
<b>LAd - Topo</b>											
5,1c	5,10b	44,00c	23,54b	9,02a	1,51a	2,94 a	0,09 b	0,44 a	0,50 a	0,19 a	9,00 c
<b>PVAd - Terço Médio</b>											
5,6b	3,40c	55,60b	18,23c	0,00b	1,36b	1,39 c	0,15 a	0,38 b	0,34 c	0,08 b	31,10 a
<b>RYbe -Terço Inferior</b>											
6,4a	6,54a	79,80a	24,65a	0,00b	1,50a	2,43 b	0,11 b	0,39 b	0,46 b	0,07 b	17,36 b

CTC = capacidade de troca catiônica; V% = saturação por base; MO = matéria orgânica; m% = saturação por alumínio; Ds = densidade do solo; RP<sub>100kPa</sub> = resistência à penetração a 100kPa de tensão na umidade do solo; MP = macroporosidade do solo; PT = Porosidade total; UV<sub>33kPa</sub>/PT = relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total; AD/PT = relação água disponível/porosidade total; e K<sub>0</sub> = condutividade hidráulica do solo saturado. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

plantas. Os valores de V% encontrados mostraram a mesma variação dos outros indicadores químicos, com incremento do topo, onde a remoção predomina, para a base da encosta, onde predominam os processos de deposição e acúmulo. Desta forma, a profundidade de solo avaliada apresentou-se distrófica no topo e eutrófica na base.

Os valores da densidade do solo (DS) apresentaram-se estatisticamente iguais no topo e terço inferior e maiores que no terço médio. Tanto no topo quanto no terço inferior os valores encontrados indicam que o pisoteio dos animais parece ser o fator principal de diferenciação deste indicador. O aumento da densidade refletiu na macroporosidade, observando-se valores abaixo do ideal onde a densidade foi limitante. O pisoteio também contribuiu para o alto valor da resistência do solo à penetração de raízes (RP) no topo e no terço inferior da topossequência, exatamente nas zonas onde os animais permanecem por mais tempo. Nestes locais o valor apresenta-se limitante (Imhoff et al., 2000). No terço médio o valor foi bem mais baixo e duas são as razões que podem explicar esse resultado. Primeiramente por ser uma zona de menor tempo de permanência dos animais e pelos menores valores de DS, quando comparada com as outras posições.

As relações  $UV_{33kPa}/PT$  e  $AD/PT$ , são indicadores dependentes da porosidade e por conseguinte dos outros atributos que afetam o volume de vazios no solo. São medidas relativas, cuja importância refere-se às condições de aeração e oferta de água prontamente disponíveis para as plantas. Verifica-se que as melhores condições da relação  $UV_{33kPa}/PT$  ocorreram no topo, onde se localiza o LAd, resultado muito próximo do valor encontrado no RYbe, muito embora estatisticamente diferente. No terço médio os valores foram mais baixos, o que pode ser explicado pela textura com maior predominância de areia e também da menor porosidade total. Também no PVAd a densidade do solo foi a menor da toposequência.

A condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ) recebe grande influência da porosidade do solo, sendo, portanto, dependente de todos os atributos que afetam este indicador. Apresentou-se lenta no LAd e no RYbe e rápida no PVAd (Lepsch, 1991). No topo, onde está o LAd, observa-se uma acentuada queda nos valores da  $K_0$  em relação ao PVAd e o RYbe, certamente relacionada com a diminuição do espaço poroso, como consequência do manejo, e expressos pelos valores de  $M_p$ ,

Ds e  $RP_{100kPa}$  (quadro 2). Ao contrario do PVAd no terço médio, onde além desses, a textura contribuem para os altos valores de  $K_0$  encontrados.

Os valores para as funções principais e para o índice global de qualidade do solo, IQS, estão registrados no quadro 3. Quanto à capacidade de permitir o crescimento das raízes (CRP), verifica-se que a condição menos limitante foi a do PVAd, no terço médio, enquanto no topo, onde está o LAd, os resultados foram os mais limitantes. Observando-se os valores dos indicadores que formam essa função (Quadro 2) verifica-se que o índice de qualidade para mesma está coerente, tendo em vista o valor observado para resistência do solo à penetração, mais elevados e limitantes, e para a macroporosidade, menor e abaixo do limite crítico. Esta é uma condição também influenciada pelo uso, tendo em vista ser o local de maior permanência dos animais, cujo pisoteio resulta em aumento da densidade do solo e elevação da resistência a penetração, resultando, conseqüentemente, em maior restrição ao desenvolvimento das raízes. Essa situação se repete no RYbe. Por outro lado, a restrição química ao crescimento das raízes pouco contribuiu para esse resultado, tendo em vista os valores muitos baixos de saturação por alumínio (Quadro 2) nas três posições topográficas, mesmo onde o pH apresentou-se acima de 5,5.

No que se refere a permitir o crescimento das raízes, o LAd, apresentou-se mais limitante que o PVAd e Rybe, condição confirmada pelos valores de resistência a penetração (Quadro 2). O mesmo não ocorrendo quanto à função de conduzir e armazenar água (CAA), onde se verifica que o LAd apresentou condição menos limitante que o PVAd, podendo-se explicar pelos maiores teores de argila e matéria orgânica, além da maior porosidade total, ao contrário do PVAd, onde os valores desses indicadores tornaram essa função mais limitante. Esses resultados são confirmados pela  $K_0$  cujos valores foram diferentes estatisticamente e muito mais elevados no PVAd que no LAd.

Tendo em vista a posição no relevo, como zona de acumulação e os valores da CTC, V% e MO (Quadro 2) o RYbe, apresentou o maior valor do índice para a função suprimento de nutrientes (SN), como era esperado. Outro aspecto importante relativo à função suprimento de nutrientes refere-se ao valor encontrado para o PVAd, nitidamente inferior às outras duas classes de solo. Essa condição pode ser conseqüência da remoção acentuada e baixa acumulação de materiais mais nobres como matéria orgânica e argila nesta parte da encosta, tendo em vista tratar-se de

uma zona de passagem dos nutrientes removidos do topo e depositados na parte baixa do relevo.

Os valores do índice global de qualidade (IQS) foram semelhantes no topo e terço inferior, onde estão o LAd e RYbe, respectivamente. Seus valores indicam qualidade média, sendo seu maior potencial determinado pela capacidade para armazenar e conduzir água no topo e suprimentos de nutrientes no terço inferior. O PVAd, apresentou o menor valor de IQS indicando qualidade ruim, cuja principal limitação está relacionada à sua baixa capacidade para fornecer nutrientes para as plantas. Para o RYbe, os valores, embora baixos, indicam maior equilíbrio no

**Quadro 3. Valores médios dos IQS e funções na profundidade de 0,0 a 0,20 m para as três classes de solos e posições no relevo em uma topossequência sob pastagem no semiárido baiano**

CRP	CAA	SN	IQS	Classe
<b>LAd – Topo</b>				
0,084	0,251	0,184	0,516	Média
<b>PVAd - Terço Médio</b>				
0,171	0,141	0,139	0,452	baixa
<b>RYbe -Terço Inferior</b>				
0,105	0,164	0,244	0,513	Média

CRP = Crescimento radicular em profundidade; CAA = Capacidade em armazenar água; SN = Armazenar e Suprir de nutrientes; IQS = Índice global qualidade; Lad – Latossolo Amarelo Distrófico; PVAd – Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico; Rybe – Neossolo Flúvico Tb Eutrófico. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

desempenho das três funções, com maior limitação para o suprimento de nutrientes (SN).

Em relação ao índice global de qualidade, IQS, verifica-se diferenças nos valores nominais (Quadro 3), tendo-se encontrado média qualidade no LAd (topo) e Rybe (terço inferior) e ruim no PVAd (terço médio). No entanto, as maiores

diferenças estão na composição do índice, esta sim uma característica fortemente influenciada pela posição topográfica (Figura 3).

No topo, onde o solo apresentou índice global pouco acima de 0,5, observa-se que a função CAA (48%) foi predominante na sua composição, o que pode ser explicado pelo maior teor de argila e matéria orgânica encontrados no LAd, resultando na melhor relação  $UV33KPa/PT$  e  $AD/PT$ . Neste caso, o aumento da densidade do solo, determinado pelo pisoteio ao diminuir a  $K_0$  (moderada), para níveis mais favoráveis à permanência da água no solo também acentuou a importância desta função na composição do índice. A composição do índice no terço inferior, local do PVAd, mostrou-se mais próxima do fracionamento considerado ideal, ou seja, 30% para CRP; 50% para CAA e 20% para SN. Neste caso, as funções CAA (31%) e SN (31%) tiveram participações iguais, enquanto a CRP (38%), teve maior contribuição, refletindo os valores mais adequados de resistência do solo à penetração, densidade do solo e macroporosidade, encontrados nesta zona da topossequência.

Na composição do índice no terço inferior, local do RYbe, a principal função formadora do IQS foi a suprimimento de nutrientes(SN), com 48% de contribuição. Em se tratando de uma zona de deposição e acúmulo, os valores de pH, CTC, V% e da matéria orgânica revelaram-se os melhores (Quadro 2), com reflexos positivos na função SN, cujo valor nominal foi o maior dentre as posições avaliadas neste estudo.



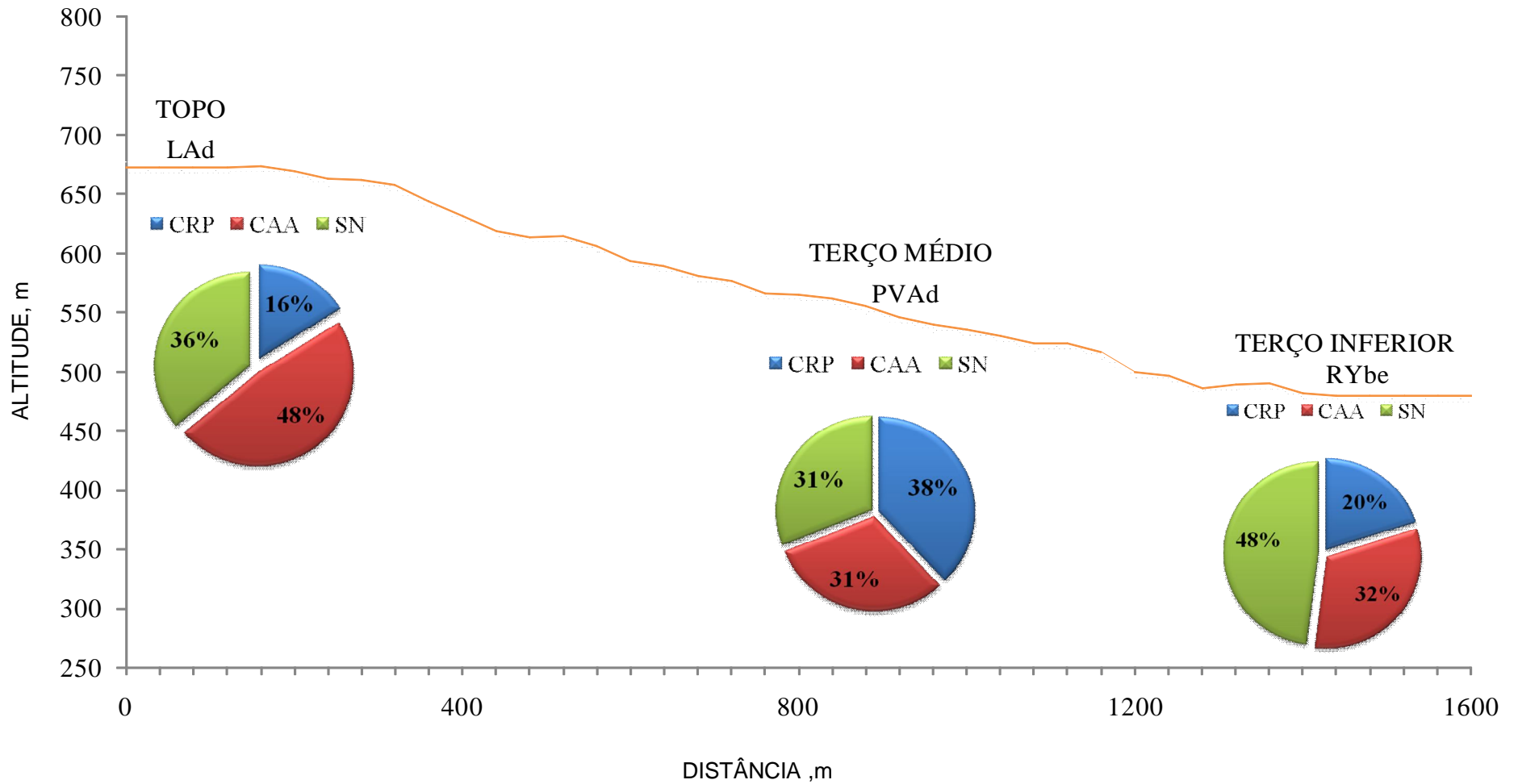


Figura 3. Composição do Índice global de qualidade nas três posições do relevo e classes de solos.

## CONCLUSÕES

O relevo influenciou nos indicadores de qualidade do solo, especialmente nos químicos, discriminando o potencial e as limitações das diferentes classes de solos na paisagem.

O IQS e suas funções principais apresentaram média qualidade no topo e terço inferior e ruim médio e inferior. A composição índice global de qualidade (IQS), também foi influenciada pelo relevo, especialmente no topo e terço médio, onde, predominaram as funções capacidade de armazenamento de água (CAA) e crescimento radicular em profundidade, respectivamente. No terço inferior não se observou predominância entre as funções.

## LITERATURA CITADA

ALVAREZ, V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. & ALVAREZ, V. H. (Eds.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 43-60.

ALVES, A. J.O. & RIBEIRO, M.R. Caracterização e gênese dos solos de uma toposseqüência na microrregião da mata seca de Pernambuco. R. Bras. Ci. Solo, 19:297-305, 1995.

ARAÚJO, R., GOEDERT, W. J. & LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. R. Bras. Ci. Solo, 31:1099-1108, 2007.

BEUTLER, A. N.; SILVA, N. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; Cruz, J. N.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência a penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 25:167-177, 2001.

CAMARGO, L. A.; JÚNIOR, J. M & PEREIRA, G. T. Spatial variability of physical attributes of na Alfisol under different hillslope curvatures R. Bras. Ci. Solo, 34: 617-630, 2010.

CANELLAS, L. P.; BERNER, P. G.; SILVA S. G.; SILVA, M. B. & SANTOS, G. A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequencia no estado do rio de janeiro Pesq. Agropec. Bras., 35:133-143, 2000.

CARVALHO, W. A. Relações entre relevo e solos da bacia do Rio Capivara município de Botucatu, SP. 1981. 193f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 1981.

CARTER, M.R. Quality, critical limits and standardization. In: LAL, R., ed. Encyclopedia of soil science. New York, Marcel Dekker, 2002. p.1062-1065.

CEDDIA, M. B., VIEIRA, S. R., VILLELA, A. L. O., MOTA, L. dos S.; ANJOS, L. H. C. dos & CARVALHO, D. F. de. Topography and spatial variability of soil physical properties. Sci. agric.66:338-352, 2009

CHAVES, L. H. G.; MENINO, I. B.; ARAÚJO, I. A. & CHAVES, I. de B. Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do município de Sousa, PB. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, 2:262-267, 1998

COELHO, M. R.; MARTINS, V. M.; TORRADO, P. V.; SOUZA, C. R. G.; PEREZ, J. L. O. & VÁZQUEZ, F. M. Relação solo-relevo-substrato geológico nas Restingas da planície costeira do estado de São Paulo R: Bras. Ci Solo: 34:833-846, 2010

COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e calagem para o Estado da Bahia. 2. Ed Salvador, CEPLAC/EMATERBA/EPABA/NITROFÉRTIL, 1989.173P.

CORREA, M. M.; KER, J. C. MENDONÇA, E. S.; RUIZ, H. A. & BASTOS, R. S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos da região das várzeas de Sousa-PB. R. Bras. Ci. Solo. 27:311-324, 2003.

DEMATTÊ, J.L.I.; MAZZA, J.A. & DEMATTÊ, J.A.M. Caracterização e gênese de uma topossequencia Latossolo Amarelo-Podzol originado de material da formação barreiras – Estado de Alagoas. *Sci. agric.* 53:20-30, 1996.

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).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos (EMBRAPA – CNPS), 1997. 212p.

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

FANNING, D. S. & FANNING, M. C. B. *Soil, morphology, genesis and classification*. New York, John Whily & Sons, 1989. 395p

GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H & SANTOS, A. C. Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e do uso do solo na microbacia do agreste em Vaca Brava (PB). *R. Bras. Ci. Solo*, 29:955-962, 2005

GLIESSMAM, S. R. *Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável*. 3.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P. & TORMENA, C.A. Aplicação da curva de resistência do solo à penetração no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesq. Agropec. Bras*, 35:1493-1500, 2000.

KARLEN, D.L. & STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BZEDICEK, D.F. &

STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.53-72. (Special Publication, 35)

KIEHL, E. J. Manual de edafologia. São Paulo, Agronômica "Ceres", 1979. 262p.

LEPSCH, I.F., coord. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas, SBSC, 1991. 175p.

LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. 2.ed. Piracicaba: Edusp, 2005. 509p.

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.

MONTANARI, R; JÚNIOR, J.M; PEREIRA, G.T & SOUZA, Z. M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. Pesq. agropec. bras.,40: 69-77, 2005.

SANTOS, A. C. dos; SALCEDO, I. H.; GALVAO, S. R. da S.. Relações entre uso do solo, relevo e fertilidade do solo em escala de microbacia. Rev. Bras. Eng. agríc. Ambient, 12:458-464, 2008.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa, SBCS, 2005. 5º Ed. Revisada e ampliada. 92p.

SILVA, M. B. et al. Estudo de toposseqüência da baixada litorânea fluminense: efeitos do material de origem e posição topográfica. R. Bras. Ci. Solo, 25:965-976, 2001.

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.

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, Ribeirão Preto, 2003. UNESP, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. CD – ROM.

REIS, M. S. da.; FERNANDES, A. R.; GRIMALDI, C.; DESJARDINS, T.; GRIMALDI, M. Características químicas dos solos em uma toposseqüência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia Oriental. Rev. Ciênc. Agrár. Belém, 52; 37-47, 2009.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônômico. 2001. 285p.

TERAMOTO, E. R., LEPSCH, I. F. & VIDAL, T. P. Relações solo, superfície geomórfica e substrato geológico na microbacia do Ribeirão Marins (Piracicaba - SP). Sci. Agric.,58: 361-371, 2001.

WERNER, J. C.; PAULINO, V. T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N. O. & QUAGGIO, J. A. Forrageiras. In: VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1996. p.245-258. (Boletim Técnico, 100).

## **CAPÍTULO 2**

### **VARIABILIDADE ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA E MACROPOROSIDADE DO SOLO EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA SOB PASTAGEM NO SEMIÁRIDO BAIANO<sup>1</sup>**

---

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

## VARIABILIDADE ESPACIAL DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA E MACROPOROSIDADE DO SOLO EM UMA TOPOSSEQÜÊNCIA SOB PASTAGEM NO SEMIÁRIDO BAIANO

**RESUMO:** A variabilidade espacial é uma característica da maioria dos fenômenos naturais, podendo-se incluir, dentre eles, parâmetros relacionados com o movimento de água no solo, a exemplo da condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ), e a macroporosidade ( $M_p$ ). Esses atributos estão também relacionados com a interação dos fatores de formação do solo, especialmente ao material de origem e ao relevo, cuja compartimentação mostra-se bastante eficiente para o entendimento da variação desses atributos no ambiente. Este estudo foi realizado em uma área sob pastagem localizada na Fazenda Mombitaba, no Município de Santa Inês – BA, com o objetivo de avaliar o efeito do relevo na variabilidade da condutividade hidráulica do solos ( $K_0$ ) e da macroporosidade ( $M_p$ ) em uma toposseqüência localizada no semiárido da baiano, onde se identificaram as seguintes classes de solos: Topo: Latossolo Amarelo Distrófico típico; terço médio: Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico e, terço inferior: Neossolo Flúvico Tb Eutrófico típico. As amostras foram coletadas em três malhas medindo 6 x 22 m, com espaçamento de 2 metros entre pontos. Observou-se que o padrão da variabilidade espacial, o alcance e o grau de dependência espacial foram influenciados pela posição no relevo, com diferenças entre os atributos avaliados. Em relação à  $K_0$  observou-se efeito pepita puro, não sendo possível identificar a estrutura de sua variabilidade e dependência espacial. Quanto a  $M_p$  observou-se efeito pepita pura no topo, com estrutura de variabilidade espacial influenciada pelo relevo nos terços médio e inferior.

**Palavras-chaves:** Relevo, variabilidade, atributos do solo



**SPATIAL VARIABILITY OF SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY AND SOIL MACROPOROSITY ON A TOPOSEQUENCE LOCATED IN THE SEMI-ARID REGION OF BAHIA STATE, BRAZIL.**

**ABSTRACT:** The spatial variability is a characteristic of the major natural phenomena and it can be included between them the parameters related to the water movement in soil, for instance, the saturated hydraulic conductivity and macroporosity can be influenced by soil management. On the other hand, these attributes are also related to the interaction of soil formation factors, especially with the parent material and the relief, whose compartmentation appears to be quite effective on understanding the variation of these soil attributes. The study was carried out in soil under pasture, in Mombitaba farm, in Santa Ines – BA. The aim of this work was to evaluate the effect of the relief on the spatial variability of saturated hydraulic conductivity and macroporosity on a toposequence located in the semi-arid region of Bahia. The following classes of soils were indentified: upper third, typical dystrophic Yellow Latosol; medium third, Ultisol; and in the lower third, Typical Tb Entropic Fluvic Neosol. The samples were collected from three grids of 6 x 22 m, with a regular distance of 2 m between points. It was observed that the pattern of spatial variability, the extent and degree of spatial dependence were affected by the relief position, with differences between attributes. Regarding the observed  $K_0$  pure nugget effect, it is not possible to identify the structure of its variability and spatial dependence. As the MP observed pure nugget effect at the top with the spatial variability structure influenced by the relief in the middle and lower.

**Palavras-chaves:** relief, variability, attributes of soil.

## INTRODUÇÃO

Os fatores de formação do solo, o relevo destaca-se como o de maior influência na variabilidade espacial dos seus atributos de qualidade. Essas influências foram verificadas por Cunha et al. (2005) e Pachepsky et al. (2001), para atributos relacionados ao movimento e à retenção de água, os quais mostram a importância das variáveis topográficas na interpretação da variabilidade de campo das propriedades do solo, especificamente em relação à condutividade hidráulica. Bouma et al. (1989) sugerem efeitos do processo de gênese na heterogeneidade e conseqüente variabilidade desse parâmetro hídrico do solo. Para estes autores, o processo de desenvolvimento do perfil influencia no padrão de porosidade, afetando também a condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ).

A condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ) é um dos atributos do solo com maior índice de variabilidade. Esta condição decorre do grande número de fatores que a influenciam e suas possíveis interações de efeitos. Assim, qualquer alteração nos atributos relacionados ao espaço poroso do solo resulta em significativo efeito na  $K_0$ . Por isso, propriedades do solo como a textura, a estrutura, a densidade, a qualidade das argilas e a matéria orgânica exercem influência sobre a condutividade (Warrick & Nielsen, 1980; Melo Filho & Libardi, 2005).

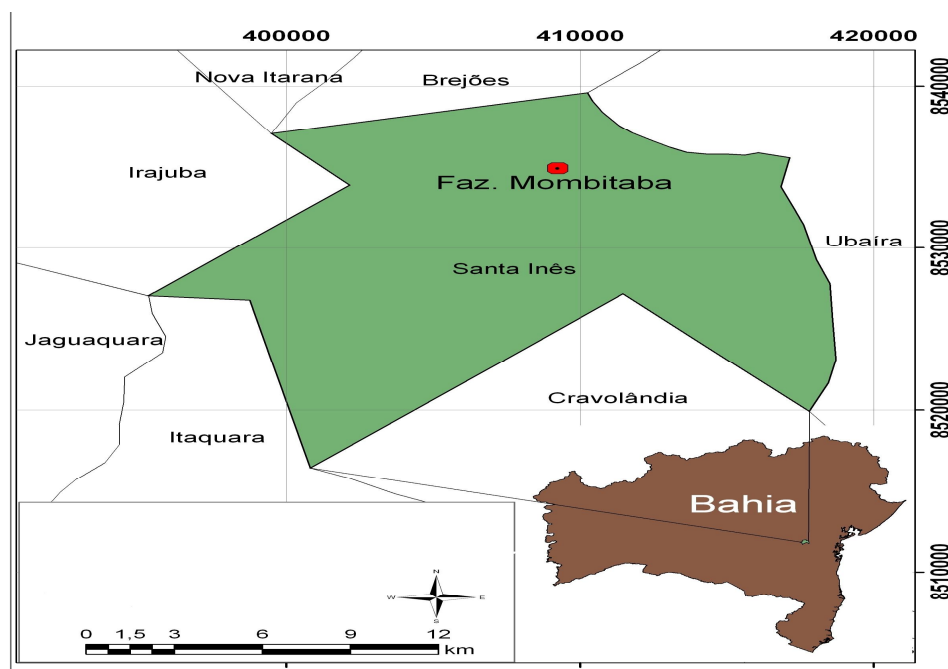
Scherpinski et al. (2010) por exemplo, estudando variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo, detectaram estruturas de dependência espacial.. Machado (1994) ao estudar a variabilidade espacial de uma hidroseqüência (sic) de solos bem a mal drenados, encontrou uma ampla variação nos resultados de macroporosidade tendo, através de análises geoestatísticas, encontrado dependência espacial entre as observações, para a maioria das situações estudadas.

Nesse contexto, o presente trabalho objetivou caracterizar a variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ) e da macroporosidade do solo ( $M_p$ ) em três classes de solos em uma toposseqüência sob pastagem no semiárido baiano.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição e localização da área

A área em estudo é uma toposseqüência sob pastagem, localizada na Fazenda Mombitaba, no Município de Santa Inês – BA, cujas coordenadas geográficas são 13°20'30'' de latitude Sul e 39°49'20'' de longitude Oeste, com altitude média de 398 m (Figura 1). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo semiárido (BS), com temperatura média anual de 22,8°C, sendo a máxima de 27,7°C e mínima de 18,8°C, pluviosidade média anual de 628 mm, e mínima de 328 mm; sua topografia é fortemente ondulada e ela está situada na cabeceira do Rio Jiquiriçá.



**Figura 1. Localização da Fazenda Mombitaba, no Município de Santa Inês-BA**

Para caracterização e descrição dos perfis, foram abertas três trincheiras localizadas no topo, terço médio e inferior da toposseqüência, conforme Santos et al. (2005). A classificação dos solos foi realizada segundo SIBCS (EMBRAPA, 2006.), identificando-se Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) no topo, Argissolo Vermelho-

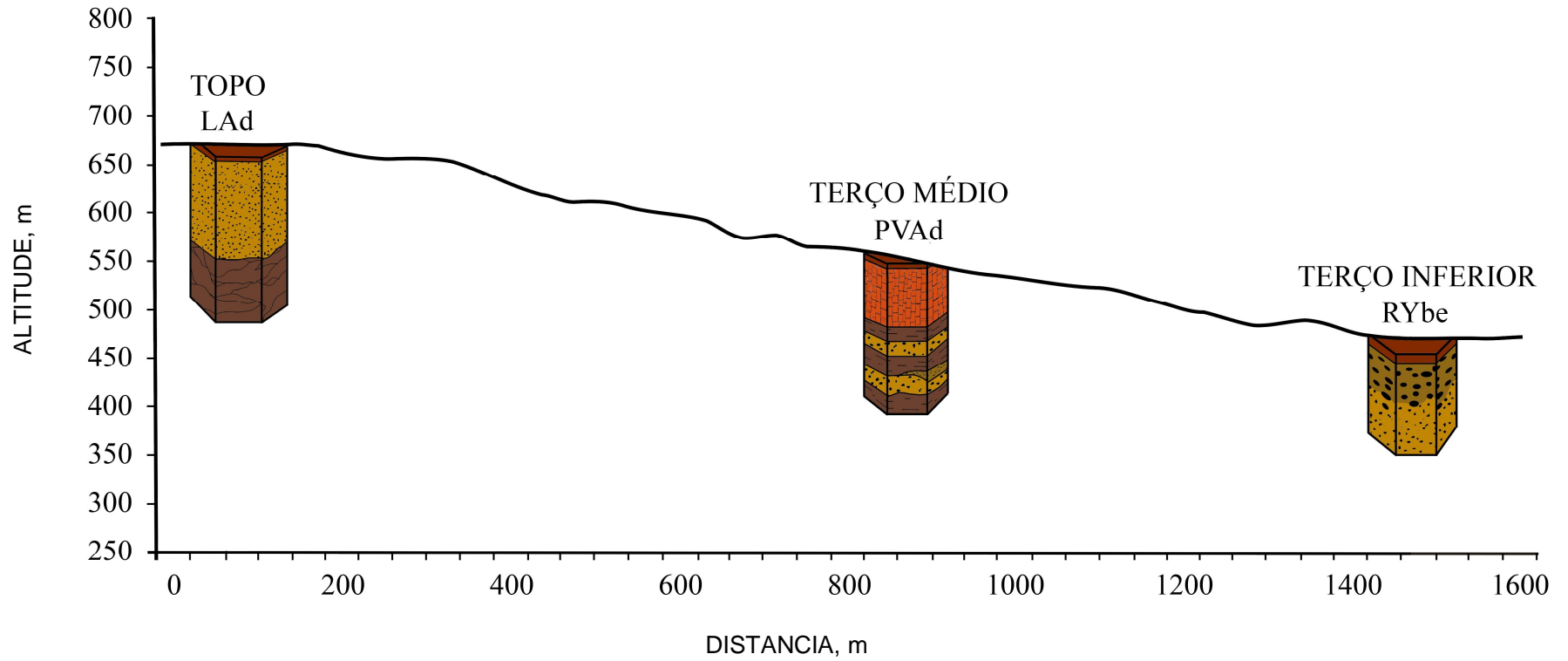
Amarelo Distrófico (PVAd) no terço médio e Neossolo Flúvico Tb Eutrófico (RYbe) no terço inferior (figura 2).

### **Amostragem do solo**

Foram coletadas amostras de solo, deformadas e indeformadas, na profundidade de 0 - 0,20 m, utilizando-se, respectivamente, trado tipo holandês e extrator de solo tipo Uhland, com anéis de diâmetro de 5,0 cm, altura de 5,2 cm e volume de 102,10 cm<sup>3</sup>. As áreas de amostragem foram o terço superior (LAd); terço médio (PVAd) e terço inferior (RYbe) da toposseqüência, nas quais se marcaram malhas medindo 6 x 22 m, com espaçamento de 2 metros entre pontos, totalizando 48 pontos de amostragem por "grid".

### **Análise estatística dos dados**

A determinação da condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ) foi efetuada com permeâmetro de carga decrescente conforme Libardi (2005) e a macroporosidade conforme Embrapa (1997). Os dados obtidos foram analisados segundo os procedimentos clássicos da estatística descritiva (Vieira, 2000). Para tanto, utilizou-se o programa Statistica 7.0 (Stat Soft, 2004), obtendo-se medidas de posição (média, mediana e moda) e de dispersão (desvio padrão, amplitude total, variância, coeficientes de variação, assimetria e curtose). Depois da identificação dos valores extremos, conforme Libardi et al. (1996), verificou-se novamente a distribuição dos dados para confirmar se as observações discrepantes realmente alteravam os parâmetros estatísticos relacionados com os dados. A dependência espacial das variáveis foi determinada com base no ajuste dos dados ao semivariograma experimental, tendo como fundamento a teoria das variáveis regionalizadas (Vieira, 2000). Para tanto utilizou-se o programa GS+ (Versão 5.0.3 Beta for Windows). O grau de dependência espacial (GD) foi classificado segundo proposta de Cambardela et al. (1994), a qual estabelece: IDE < 25% - forte dependência espacial; IDE entre 25% e 75% - moderada dependência espacial e IDE > 75% - fraca dependência espacial.



**Figura 2. Perfil topográfico, superfícies geomorfológicas e localização das classes de solos estudadas**

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características morfológicas dos três perfis indicaram a seguinte seqüência de classes de solo na topografia estudada: Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) no topo; Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico (PVAd) no terço médio da encosta; e Neossolo Flúvico Tb Eutrófico (RYbe) no terço inferior. O LAd apresenta-se com horizonte A moderado, textura argilosa, fase caatinga e relevo suave ondulado. O PVAd apresenta-se com A moderado, textura argilosa, fase caatinga e relevo ondulado. O RYbe apresenta-se com A moderado, textura franco-argilo,arenosa, fase caatinga e relevo plano.

Os resultados da análise estatística exploratória estão no quadro 2. Verifica-se que a posição no relevo e a classe de solo influenciaram a distribuição de freqüência da condutividade hidráulica ( $K_0$ ) e macroporosidade ( $Mp$ ) ao longo da paisagem.

Aplicando-se os procedimentos de Libardi et al. (1996) verificou-se a existência de valores extremos nos dados da condutividade hidráulica ( $K_0$ ), nas três posições e classes de solo, o que não foi observado para a macroporosidade ( $MP$ ). A retirada desses valores diminuiu o CV, como ocorre na maioria dos casos já estudados, porém não mudou a distribuição de freqüência dos dados da  $K_0$ .

Considerando os resultados referentes à análise descritiva (Quadro 2), após a transformação logarítima dos valores de  $K_0$ , verificou-se a melhoria dos ajustes desses dados, no topo e terço inferior. Observando-se os valores da média, mediana e moda, nota-se uma distribuição assimétrica e diferente da normal, no terço médio, o que pode ser confirmado pelos valores de assimetria e curtose, diferentes de zero. O mesmo ocorreu com a ( $Mp$ ). Os resultados referentes ao teste Shapiro Wilk a 5% também indicaram a não normalidade da distribuição dos dados desse atributo, estando de acordo com o constatado por Libardi et al.(1996) e Souza et al. (2004).

Os valores de média e mediana para  $Mp$  encontrados no topo e terço médio e inferior foram iguais, indicando simetria na distribuição dos dados. Para uma distribuição normal, os coeficientes de assimetria e curtose devem assumir valor 0 e 3, respectivamente, mas conforme mostrado no quadro 2, os valores de assimetria e curtose apresentam-se ligeiramente diferentes da referência. No entanto, não caracterizam afastamento expressivo da normalidade, conforme desmostrado nos histogramas de distribuição de freqüência. (Figura 3); apenas evidenciam que, na

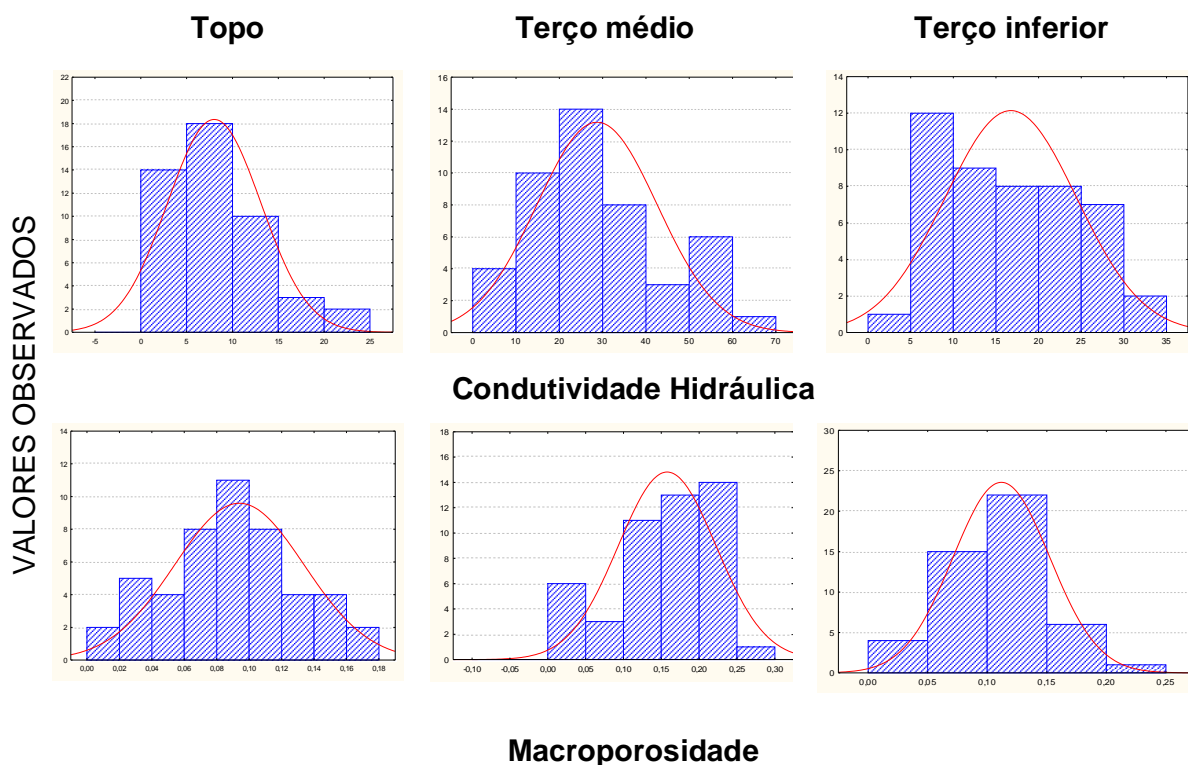
**Quadro 2. Estatística descritiva dos dados de condutividade hidráulica e macroporosidade para as três posições no relevo**

Variável	Média	Mediana	Moda	Min	Max	Amp.	Coeficientes			Teste $p < W$	Distribuição de freqüência	Valores Extremos	Variância
							Varição %	Assimetria	Curtose				
<b>Topo (LAd)</b>													
<b>K<sub>0</sub></b> (cm h <sup>-1</sup> )	8,01	7,22	Multiple	0,90	20,61	19,71	63,7	0,786	2,95	0,540	LN	Sim (1)	26,03
<b>MP</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,10	0,10	0,10	0,02	0,18	0,16	42,5	-0,005	2,52	0,440	N	Não	1,81 x 10 <sup>-3</sup>
<b>Terço médio (PVAd)</b>													
<b>K<sub>0</sub></b> (cm h <sup>-1</sup> )	31,10	25,34	50,59	6,70	92,75	86,05	48,5	0,559	2,51	0,031	nN	Sim (1)	227,51
<b>MP</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,16	0,17	0,21	0,02	0,27	0,25	40,9	-0,669	2,66	0,007	nN	Não	4,28 x 10 <sup>-3</sup>
<b>Terço inferior (RYbe)</b>													
<b>K<sub>0</sub></b> (cm h <sup>-1</sup> )	17,36	16,38	5,15	4,28	46,37	42,09	46,1	0,375	2,18	0,163	LN	Sim (2)	64,05
<b>MP</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,12	0,12	0,13	0,04	0,21	0,17	36,3	0,059	2,43	0,373	N	Não	1,80 x 10 <sup>-3</sup>

Multiple : Múltiplos valores de moda ; LN: distribuição lognormal; N: distribuição normal; nN: distribuição não normal; W : Significância estatística do teste de Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade.

natureza não são encontradas distribuições que sejam absolutamente normais. A normalidade para ( $M_p$ ) também foi verificada por Souza et al. (2004).

Variações no relevo podem influenciar nos coeficientes de variação dos atributos do solo, indicando maior ou menor heterogeneidade. Nessa condição, verifica-se no quadro 2 que a ( $K_0$ ) apresentou coeficiente de variação associado à posição no relevo, sendo decrescente e classificado como médio nas três posições do relevo (Quadro 2) de acordo com a proposta de Warrick & Nielsen (1980); o coeficiente de variação da macroporosidade apresenta a mesma tendência. Alguns autores, a exemplo de Souza & Alves (2003), atribuem os valores de coeficientes de variação da  $K_0$  ao efeito local, em consequência da alta variabilidade espacial dos solos.



**Figura 3. Histogramas de freqüência da condutividade hidráulica e macroporosidade para as três posições no relevo.**

A maior variabilidade espacial da  $K_0$  e  $M_p$  no topo e menor no terço inferior, demonstra a influência do relevo e sua contribuição na distribuição espacial desses atributos. Observou-se também que a variabilidade da  $K_0$  teve a mesma tendência da  $M_p$ , podendo ser explicado pela relação entre esses dois atributos, na qual a variabilidade da macroporosidade tem efeito sobre a  $K_0$ . Entretanto, a deposição de



diversos materiais coluviais, com diferentes propriedades físicas ocorrida no terço inferior onde está localizado o RYbe, não influenciou na variabilidade da  $K_0$  e  $M_p$ , em relação às demais posições do relevo,

No quadro 3 são apresentados os modelos e parâmetros dos semivariogramas para condutividade hidráulica ( $K_0$ ) e macroporosidade ( $M_p$ ). Os modelos de semivariogramas para a  $K_0$  nas três posições no relevo, e para a  $M_p$  no topo, caracterizam efeito pepita puro, sendo confirmado pelos baixos valores do  $r^2$  obtidos por esses atributos.

O quadrado médio do erro (SQS) descreve melhor o ajuste do semivariograma de acordo com critérios estabelecidos por Zimmerman & Zimmerman (1991). Nessa condição o modelo esférico, apresentou o melhor ajuste para a ( $M_p$ ) nos terços médio e inferior, apesar da maioria dos modelos de semivariograma (Quadro 4) apresentarem valores de coeficiente de determinação ( $r^2$ ) baixos, para esse atributo.

O alcance ( $a$ ) é importante para planejar e avaliar procedimentos futuros de amostragem, pois representa a distância máxima de correlação entre os pontos amostrados (Souza et al., 2004), podendo ser influenciado pelo relevo. Nesse contexto observou-se que os valores de  $K_0$  nas três posições no relevo, e a  $M_p$  no topo, não apresentaram alcance, uma vez que, nesses casos, ocorre efeito pepita puro, descrevendo que o espaçamento é maior que o alcance da variabilidade destes atributos, sugerindo um espaçamento entre pontos de amostragem menor que 2 m.

A macroporosidade nos terços médio e inferior apresentou alcance de 22,7 m e 7,58 m, respectivamente. Portanto, para uma amostragem representativa da  $M_p$ , seria necessário a coleta em pontos com distância acima 22,7 m no terço médio e 7,58 m no terço. Este comportamento demonstra que existe um padrão de influência correlação entre a posição do relevo e o alcance da  $M_p$ .

O grau dependência espacial (GD), segundo a classificação de Cambardella et al. (1994), mostra que a  $M_p$  no terços médio e inferior apresentou GD diferentes, sendo moderada no terço médio e forte no terço inferior. Segundo Cambardella et al. (1994) a forte dependência espacial é uma característica dos atributos intrínsecos do solo, dependentes de sua formação e, portanto, influenciados por fatores como o relevo. Isso explica a variabilidade da  $M_p$  ao longo da toposeqüência.

**Quadro 3. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais da  $K_0$  e  $M_p$  na profundidade de 0-020 m, para três classes de solos e posições no relevo**

Atributo	Modelo	Co	C + Co	a (m)	$r^2$	IDE %	GD	SQS
<b>Topo (LAd)</b>								
$K_0$								Efeito pepita puro
$M_p$								Efeito pepita puro
<b>Terço Médio (PVAd)</b>								
$K_0$								Efeito pepita puro
$M_p$	Esférico	0,0019	0,0019	22,70	0,950	30,2	Moderada	4,77E-07
<b>Terço Inferior (RYbe)</b>								
$K_0$								Efeito pepita puro
$M_p$	Esférico	0,0002	0,0019	7,58	0,636	10,5	Forte	4,20 E-07

Co: Efeito pepita; C+ Co: Patamar; a: Alcance;  $r^2$ : Coeficiente de determinação; IDE: Índice de dependência espacial; GD: Grau de dependência espacial.

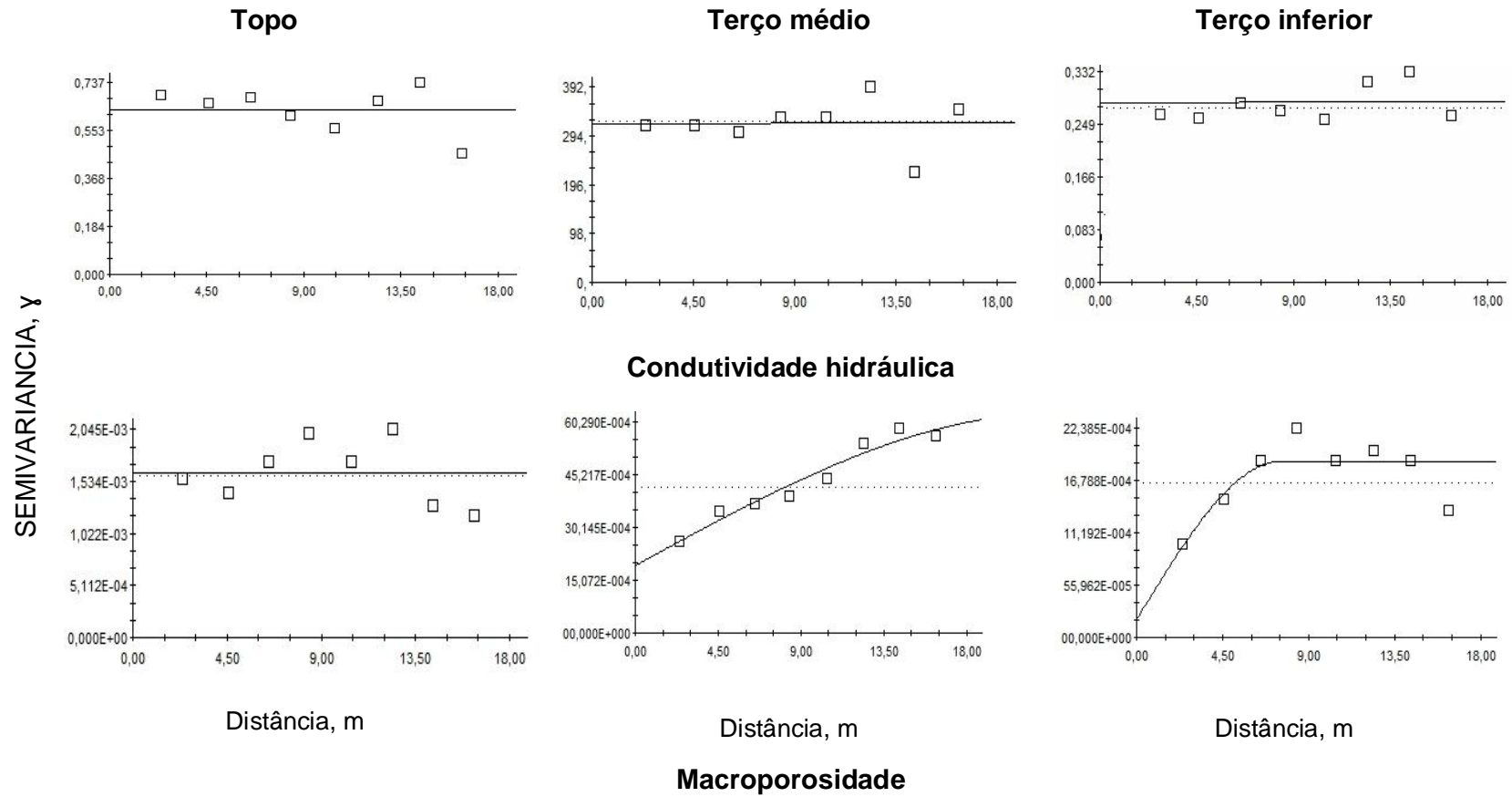


Figura 4. Semivariogramas da condutividade hidráulica do solo saturado e macroporosidade para as três posições no relevo.

## CONCLUSÕES

Observou-se que o padrão da variabilidade espacial, o alcance e o grau de dependência espacial foram influenciados pela posição no relevo, com diferenças entre os atributos avaliados. Em relação à  $K_0$  observou-se efeito pepita puro, não sendo possível identificar a estrutura de sua variabilidade e dependência espacial. Quanto a  $M_p$  observou-se efeito pepita pura no topo, com estrutura de variabilidade espacial influenciada pelo relevo nos terços médio e inferior.

## LITERATURA CITADA

BEIGUELMAN, B. Curso prático de bioestatística. 3 ed. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1994.

BOUMA, J. JONGMANS, A.G. STEIN, A. & PEEK, G. Characterizing spatial variable hydraulic properties of a boulder clay deposit in the Netherlands. *Geoderma*, 45:19-29, 1989.

CAMBARDELA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA G. T.; MONTANARI R.; CAMARGO, L. A. & COSTA, M. C. Relações solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. *R. Bras. Ci. Solo*. 31:519-529, 2007.

CARVALHO, W. A. Relações entre relevo e solos da bacia do rio Capivara – município de Botucatu, SP. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1981, 193p. (Tese de doutorado)

CUNHA, P.; MARQUES JÚNIOR, J.; CURI, N.; PEREIRA, G.T. & LEPSCH, I.F. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma seqüência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). R. Bras. Ci. Solo, 29:81-90, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESUISA AGROPECUÁRIA -EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos (EMBRAPA – CNPS), 1997. 212p.

LIBARDI, P. L. MANFRON P. A; MORAES, S. O. & TUON, R. L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. R. Bras. Ci. Solo, 20:1-12, 1996.

LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. 2.ed. Piracicaba: Edusp, 2005. 509p.

MACHADO, R.V. Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em uma hidroseqüência de solos bem a muito mal drenados. Lavras: Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1994. 88p. (Dissertação Mestrado).

MELO FILHO, J.F. & LIBARDI, P. L. Estabilidade temporal de medidas de teor e do potencial mátrico da água no solo em uma transeção. R. Bras. Ci. Solo, 29:497-506, 2005.

PACHEPSKY, Y. A.; TIMLIN, D. J. & RAWLS, W. J. Soil water retention as related to topographic variables. Soil Sci. Soc. Am. J., 65:1787-1795, 2001.

POCAY, V.G. Relações entre pedoforma e variabilidade espacial de atributos de Latossolos sob cultivo intensivo de cana-de-açúcar. 177p. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2000.

PALMIERI, F. & LARACH, J. O. I. Pedologia e geomorfologia In: QUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. Geomorfologia e meio Ambiente. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 59-122p.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs. In: guerra, a. j. t.; cunha, s. b. da. Geomorfologia e meio Ambiente. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 291-336p.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C. & ANJOS, L. H. C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa, SBCS, 2005. 5º Ed. Revisada e ampliada. 92p.

SCHERPINSKI, C.; URIBE-OPAZO, M. A.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; & JOHANN, J. A. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo. Acta. Scie. Agro, 32: 7-13, 2010.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J; PEREIRA G. T & MOREIRA, L. F.; Influência da pedofoma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. Irriga, 9:1-11, 2004.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO sob cultivo de cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 8:51 – 58, jan./abr. 2004.

SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. Acta Scientiarum Agronomy, v.25, n.1, p.27-34, 2003.

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

SOUZA, L. S. da. Variabilidade espacial do solo em sistema de manejo. Porto Alegre: UFRGS, 1992. 162 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T. & BARBIERI, D.M. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. *Sci. Agric.*, 63:161-168, 2006.

SCHLOEDER, C.A.; ZIMMERMAN, N.E. & JACOBS, M.J. Comparison of methods for interpolating soil properties using limited data. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.65, n.2, p.470-9, 2001.

STAT SOFT. Statistica (data analysis software system), version 7. , Inc. 2004.

UPCHURCH, D.R. & EDMONDS, W.J. Statistical procedures for specific objectives. In: *Spatial of soils and landforms*. Soil Sci. Soc. of America. Special publication, nº 28, p.49-71. 1991.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-54.

WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 1980. 319-344p.

ZIMMERMAN, D. L. & ZIMMERMAN, M. B. A comparison of special semivariogram estimators and corresponding ordinary Kriging predictors. *Technometrics*, v.33, p.77-91, 1991.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os fatores de formação do solo, o relevo destaca-se por estar relacionado com a variabilidade espacial de importantes atributos de qualidade do solo, sendo objeto de estudo de vários trabalhos, os quais mostram que, independente do manejo as formas do relevo determinam a variabilidade dos atributos do solo. O conhecimento das relações entre o solo e a posição na paisagem pode ser utilizado na definição de zonas de manejo, permitindo definição de práticas regionalizadas no solo. A definição da variabilidade espacial possibilita melhor controle dos fatores de produção das culturas e proteção ambiental.

A avaliação dos atributos do solo em diferentes posições no relevo revela a influência desse fator na qualidade do solo. Estabelece as principais limitações do solo quanto às suas funções para sustentar os ecossistemas naturais e agrícolas, podendo ser usada na tomada de decisões no uso e manejo do solo, visando à sua conservação e a obtenção de adequadas produções pelas plantas.

Observou-se ainda que existem outras variáveis que devem ser avaliadas. Variáveis essas, muitas vezes relacionadas à forma do relevo. Sendo necessário, portanto, um estudo mais detalhado, e melhor entendimento dos resultados obtidos, e assim, discutir a relação do relevo com a qualidade do solo.

Além disso, a escala de avaliação proposta Karlen & Stott (1994) e modificada por Souza, (2005) onde classifica IQS < 0,500 ruim; IQS entre 0,510 a 0,700 média; IQS > 0,710 ótima pode e deve ser subdividida em quatro níveis, devido a grande diversidade dos solos tropicais. Assim, propõe-se que a escala de avaliação para o IQS seja a seguinte: IQS < 0,250 muito baixa; IQS < 0,500 baixa; IQS entre 0,510 a 0,700 média; IQS > 0,710 ótima.



## ANEXOS

### PERFIL 1 – TOPO

DATA: 24.07.2009

**CLASSIFICAÇÃO:** LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico (LAd)

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS:** Fazenda

Mombitaba – Santa Inês, BA. 13°24'61"S e 39°84'17" W.

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL:** Topo da encosta, 5 a 10%

Pastagem de Brachiaria Decumbens.

**ALTITUDE:** 673 m

**PEDREGOSIDADE:** Não pedregoso

**ROCHOSIDADE:** Não rochoso

**RELEVO LOCAL:** Plano

**RELEVO REGIONAL:** Fortemente ondulado

**EROSÃO:** Não aparente

**DRENAGEM:** Bem drenado

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA:** Caatinga

**USO ATUAL:** Pasto

**DESCRITO E COLETADO:** José Fernandes de Melo Filho

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**A** - 0-27 cm, bruno muito escuro (10 YR 2/2, úmido); bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/4, seco) franco- argilo - arenosa; moderada média, blocos angulares; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

**AB** - 27-44 cm, bruno-amarelado-escuro (10 YR 3/6, úmido); bruno-amarelado (10 YR 5/6, seco); argilosa; moderada média, blocos angulares; dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

**BA** - 44-72 cm, bruno-amarelado-escuro (10 YR 1/6, úmido); amarelo (10 YR 7/8, seco); argilosa; fraca média, blocos sub angulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

**BW1** - 72-128 cm, bruno-amarelado (10 YR 5/6, úmido); amarelo-brunado (10 YR 6/8, seco); argilosa; fraca; muito pequena, bloco sub angulares; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual.

**BW2**- 128 cm +, bruno-amarelado (10 YR 5/6, úmido); amarelo -brunado (10 YR 6/8, seco); argilosa; fraca muito pequena, bloco sub angulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual.

**RAÍZES:** Muitas raízes médias no A, AB e BA; muitas raízes finas e médias no BW1 e raízes finas abundantes no BW2

**PERFIL – TERÇO MÉDIO**

DATA: 24.07.2009

**CLASSIFICAÇÃO:** ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO Distrófico típico

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS:** Fazenda

Mombitaba – Santa Inês, BA. 13°25'16"S e 39°83'73" W.

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL:** Terço médio da

encosta, 15 a 20% Pastagem de Brachiaria Decumbens.

**ALTITUDE:** 556 m

**PEDREGOSIDADE:** Não pedregoso

**ROCHOSIDADE:** Não rochoso

**RELEVO LOCAL:** Ondulado

**RELEVO REGIONAL:** Fortemente ondulado

**EROSÃO:** Não aparente

**DRENAGEM:** Bem drenado

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA:** Caatinga

**USO ATUAL:** Pastagem

**DESCRITO E COLETADO:** José Fernandes de Melo Filho

**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

**A** – 0- 7 cm, cinzento-avermelhado (5YR2,5/2, úmido); bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, seco); franco arenosa; fraca muito pequena granular; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.

**AB-** 07-28 cm, bruno-forte (7,5YR4/6, úmido); bruno-forte (7,5YR 5/8, seco); franco argila arenosa; fraca muito pequena; granular; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

**BA** - 28-54 cm, vermelho-amarelado (5 YR 4/6, úmido); vermelho-amarelado (5 YR 5/8, seco); argilo arenosa ; fraca muito pequena granular; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

**Bt1** - 54-151 cm, vermelho-amarelado (5 YR 4/6, úmido); vermelho-amarelado (5 YR 5/8, seco); argilosa; fraca muito pequena; blocos angulares; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.

**Bt2** -151 cm +, vermelho-amarelado (5 YR 4/6, úmido); bruno-forte (7,5 YR 5/8, seco); argilosa; fraca muito pequena, blocos angulares; dura, friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

**RAÍZES:** Muitas raízes no A e AB, comuns no BA; muitas raízes raras finas no Bt1 BW2

**PERFIL 3 -TERÇO MÉDIO**

DATA: 24.07.2009

**CLASSIFICAÇÃO:** NEOSSOLO FLÚVICO Tb Eutrófico

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO , ESTADO E COORDENADAS:** Fazenda

Mombitaba – Santa Inês, BA. 13°25'64"S e 39°83'60" W.

**SITUAÇÃO , DECLIVE E COBERTURA VEGETAL:** Terço inferior da encosta, plano, menor que 3%, Pastagem de Brachiaria Decumbens.

**ALTITUDE:** 480 m

**MATERIAL ORIGINÁRIO:** Segmentos coluviais do entorno

**PEDREGOSIDADE:** Não pedregoso

**ROCHOSIDADE:** Não rochoso

**RELEVO LOCAL:** Plano

**RELEVO REGIONAL:** Ondulado a fortemente ondulado

**EROSÃO:** Não aparente

**DRENAGEM:** Bem drenado

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA:** Caatinga

**USO ATUAL:** Pasto

**DESCRITO E COLETADO:** Odair Del' Arco Vinhas Costa

**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

**A** - 0-4 cm, bruno-escuro (7,5 YR2,3/2, úmido); bruno-escuro (7,5YR 3/3 seco); franco argilo arenosa; moderada média; granular; macia, muito friável; ligeiramente plástica e não pegajosa; transição clara e ondulada.

**C1** - 4-9 cm, bruno-escuro (7, 5 YR 3/2, úmido); bruno-forte (7,5 YR 4/6, seco); franco argilo arenosa; fraca média; blocos sub angulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição abrupta e ondulada.

**C2** - 9-25 cm, cinzento muito escuro (10 YR 3/1, úmido); bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, seco); franco argilo arenosa; moderada média e grande; blocos sub angulares; ligeiramente dura, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

**C3**- 25-47 cm, bruno –avermelhado e Bruno-avermelhado-escuro (5 YR 4/4 e 5 YR 3/2, úmido); bruno -forte (7,5 YR 5/6 e 7,5 YR 4/2, seco); franco argilo arenosa; moderada pequena e média, granular; ligeiramente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

**C4** - 47-93/85 cm, Vermelho-amarelado (5 YR 4/6, úmido); vermelho-amarelado (5 YR 5/6, seco); franco argilo arenosa; moderada média grande, blocos angulares; ligeiramente dura; friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

**C5** - 93-107/103 cm, bruno (7,5 YR 4/4, úmido); franco argilo arenosa; fraca; bruno-forte (7,5 YR 5/6, seco); média e grande; blocos sub angulares; macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

**C6** - 107-125 cm, bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/6, úmido); , amarelo-brunado (10 YR 6/8, seco); franco argilo arenosa; fraca média e grande; blocos sub angulares; macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

**C7** -25-160 cm, bruno-amarelado- escuro (10 YR 4/6, úmido); amarelo-brunado(10 YR 6/6, seco); franco argilo arenosa; fraca média e grande; blocos sub angulares; macia muito friável, não plástica e não pegajoso; transição plana e clara.

**C8**- 160-198 cm, bruno-amarelado- escuro (10 YR 4/6, úmido); amarelo-brunado (10 YR 6/6, seco); franco argilo arenosa; fraca média e grande; blocos sub angulares; macio; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

**C9** - 198/217 cm +, bruno- avemelhado (2,5 YR 4/4, úmido); vermelho claro (2,5 YR 6/6, seco); franco argilo arenosa; fraca média e grande; blocos sub angulares; macio, muito friável; ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara. horizontal;

**RAÍZES:** Muitas raízes no A, C1, C2, C3, C4, raízes comuns no C5, C6, C7, C8, e C9

**OBSERVAÇÕES:** Seqüência de camadas alternadas, solo enterrado com maior espessura acima de outras camadas

Material cascalhado arrestado, indicando sedimentação do material do entorno.

