



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE UM LATOSSOLO AMARELO
Coeso argissólico DOS TABULEIROS COSTEIROS,
SOB FLORESTA NATURAL.

ANDRÉ LEONARDO VASCONCELOS SOUZA

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

MAIO - 2005

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE UM LATOSSOLO AMARELO
Coeso argissólico DOS TABULEIROS COSTEIROS,
SOB FLORESTA NATURAL.

ANDRÉ LEONARDO VASCONCELOS SOUZA

Engenheiro Agrônomo
Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, 2002

Dissertação submetida à Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Uso, Manejo e Conservação dos Recursos Naturais Solo e Água.

Orientador: Prof. Dr. José Fernandes de Melo Filho

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2005

FICHA CATALOGRÁFICA

S 729 Souza, André Leonardo Vasconcelos
Avaliação da qualidade de um LATOSSOLO
AMARELO Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros,
sob floresta natural / André Leonardo Vasconcelos Souza –
Cruz das Almas, BA, 2005.
95 f; tab., graf.

Dissertação (Mestrado) – Escola de Agronomia.
Universidade Federal da Bahia.

1. Solo – qualidade 2. Solos coesos 3. Solo – manejo
I. Universidade Federal da Bahia, Escola de Agronomia II.
Título

CDD 20, ed. 631. 47

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. José Fernandes de Melo Filho
Escola de Agronomia - UFBA
(Orientador)

Prof. Dr. Joelito de Oliveira Rezende
Escola de Agronomia - UFBA

Dr. Luciano da Silva Souza
EMBRAPA - Mandioca e Fruticultura

Dissertação homologada pelo Colegiado de Curso de Mestrado em Ciências
Agrárias em

Conferindo o Grau de Mestre em Ciências Agrárias em

Aos meus pais, **Neuza Maria e Valter Moraes**, em especial a minha mãe pelo esforço e luta em prol de minha educação e por sempre ter apoiado minha liberdade de escolha.

DEDICO

Aos meus avós **Maria Marlete, Manuel, Walter Tupinambá** (*"in memoriam"*), **Maria Moraes e José Raimundo**; aos meus irmãos **Carolina, Camila e Washington**; a **Washington Nilo e Gilva Beatriz** por terem contribuído para a minha criação e formação.

Ao meu novo núcleo familiar **Patrícia e Ícaro Leonardo** por estarem sempre presentes neste meu caminhar, compartilhando os meus altos e baixos.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A todas as formas de manifestação positivas da natureza – **Deus** – que liberta a mente e acalenta a alma.

A todo povo brasileiro por ter financiado mais uma vez meus estudos possibilitando a ampliação do meu conhecimento e formação.

Ao Dr. José Fernandes de Melo Filho, orientador e amigo, pelo seu profissionalismo, conduta e ensinamentos profissionais e pessoais, compartilhados desde o momento da iniciação deste curso.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo durante o curso.

Ao meu primeiro orientador da graduação Raildo Mota de Jesus, pelos passos iniciais dentro do mundo acadêmico-científico.

Ao programa de iniciação científica PIBIC/Embrapa (CNPMPF) e ao Dr. José Eduardo Borges de Carvalho, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, por acreditar no meu potencial e concedido-me a oportunidade de estagiar durante três anos sob sua orientação.

A Universidade Federal da Bahia através da Superintendência Estudantil, pelo apoio estrutural e logístico para a conclusão do curso de graduação.

Ao meu sogro Antônio Neves e a minha sogra Maria Moura pelo apoio, incentivo e amizade.

A minha querida prima Verônica Mauadi, pela sua amizade e companheirismo de sempre.

Aos meus colegas de mestrado, Flávia Janaina, Rejane, Antônio Fonseca, Adriana, Maiara, Rosely, Genilda, Marcinho, Murilo, Mauricio, Moema, Saulo, Luiz Cláudio, José Carlos, Edimilson, entre outros, por compartilharem essa caminhada.

Aos colegas do Departamento de Química Agrícola e Solos na pessoa da professora Paula Ângela, por sua presteza e amizade.

Aos funcionários da Escola de Agronomia, em especial a Benedita, Aurelina, Vera, Maurício, Bartolomeu, Sidinha e D. Isaelse, pelo carinho e atenção.

Aos amigos Elaine e Alfredo pela atenção e companheirismo durante este caminhar.

Aos amigos e companheiros de Residência em especial a Mário, Fausto, Amistander e João.

Aos amigos Neide, Anselmo e Helder, por terem contribuído para a realização deste trabalho.

A todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO	01
Capítulo 1	
DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE EM UM LATOSSOLO AMARELO COESO ARGISSÓLICO DOS TABULEIROS COSTEIROS, SOB FLORESTA NATURAL	40
Capítulo 2	
VARIABILIDADE ESPACIAL DO ÍNDICE DE QUALIDADE EM UM LATOSSOLO AMARELO COESO ARGISSÓLICO DOS TABULEIROS COSTEIROS, SOB FLORESTA NATURAL	67
CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
ANEXO.....	97

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE UM LATOSSOLO AMARELO COESO ARGISSÓLICO DOS TABULEIROS COSTEIROS, SOB FLORESTA NATURAL.

Autor: André Leonardo Vasconcelos Souza

Orientador: Dr. José Fernandes de Melo Filho

RESUMO: O solo é um recurso natural, cujas funções no ambiente são fundamentais para a manutenção e desenvolvimento da vida no planeta. Sua capacidade de funcionar adequadamente como substrato para vegetais, filtro e tampão de resíduos, regulador do fluxo de gases, água e energia é definida como qualidade do solo. A determinação do índice de qualidade do solo permite monitorar mudanças nos seus atributos, relacionados ao uso agrícola, para que se possa mantê-lo em condições aceitáveis e eficiente de funcionamento para as futuras gerações. O objetivo deste estudo foi avaliar o Índice de Qualidade do Solo (IQS), determinando-se o valor e a variabilidade espacial, em um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico (LAX) dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. O estudo foi realizado em uma reserva de Mata Atlântica situada no município de Cruz das Almas, BA. As amostras foram coletadas em um “grid” de 18 x 8 m, com espaçamento regular de 2 m, resultando 50 repetição. Para determinação do IQS foram avaliados 11 (onze) indicadores de qualidade: macroporosidade, densidade do solo, condutividade hidráulica saturada, retenção de água a 33 kPa (U_{v33}/PT) e relação de disponibilidade de água no solo (AD/PT), pH, resistência à penetração (RP), capacidade de troca catiônica (CTC), percentagem saturação por bases (V%), percentagem de saturação por alumínio (m%) e matéria orgânica (MO), agrupados em três funções principais: 1) crescimento radicular em profundidade (CRP) 2) condução e armazenamento de água (CAA) e 3) suprimento de nutrientes (SN). O valor do índice de qualidade foi de 0,4620, indicando que o solo possui baixa qualidade para produção vegetal e seu uso em sistemas agrícolas sustentáveis exige melhorias nos indicadores de qualidade para o suprimento de nutrientes, condução e armazenamento de água. Quanto à variabilidade espacial, o índice de qualidade apresentou baixo coeficiente de variação (10,3%), alcance efetivo de 5,52 m, moderado índice de dependência espacial e número mínimo de 23 subamostras para estimar a média do IQS ao nível de 95% de probabilidade e com variação de 10% em torno da média.

Palavras-chave: Qualidade do solo, solos coesos, variabilidade espacial

EVALUATION OF THE QUALITY IN A COHESIVE ARGISOLIC YELLOW LATOSOL - LAX OVER THE TABLELAND SOIL, UNDER A NATURAL FOREST.

Author: André Leonardo Vasconcelos Souza

Advisor: DSc. José Fernandes de Melo Filho

SUMMARY: The soil is a natural resource, whose functions in the healthy atmosphere are essential for the maintenance and development of life in the planet. Its capacity to function appropriately as substratum for vegetables filter and lid of residues, regulator of the flow of gases, water and energy is defined as the soil quality. The determination of the soil quality index allows us to monitor changes in your attribute, related to the agricultural use, in order to maintain it in acceptable and efficient operation condition for the future generations. The objective of this study was to evaluate the Soil Quality Index (SQI), determining the value and variability, in a cohesive argisolic Yellow Latosol - LAX over the Tableland Soil under a natural forest. The study was located at the natural reserve of the Atlantic Forest in the city of Cruz das Almas – Bahia. The samples were collected in a grid of 18 x 8 m, with a regular distance of 2 m resulting in 50 repetitions. For determination of SQI were appraised evaluated 11 (eleven) quality indicators: macroporosity, soil density, hydraulic conductivity saturated, water retention at 33kPa (U_{v33}/TP), relationship of water availability in the soil (WA/TP), pH, penetration resistance, capacity of cations change (CTC), basis saturation value (V%), aluminum saturation value (m%) and organic matter. These indicators were divided by three main functions: 1) Root growth in depth. 2) Conduction and water storage and 3) nutrients supply. The value quality index was 0,4620 indicating of soil a lower quality to vegetal production and its use in agricultural systems require improvement in the quality index to the nutrient supply, conduction and water storage. How much to the spatial variability, the results show that the quality index for this soil presented a low variation of coefficient (10,3%), an effective reach of 5,52m, moderated index for spatial dependence and a minimum number of 23 sub-samples esteem the average of the quality index to the level of 95% of probability and with variation of 10% around the average.

Key word: Soil quality, cohesive soil, spatial variability

INTRODUÇÃO

1. O SOLO

O solo é um recurso natural essencial para a diversidade de vida existente no planeta. Do ponto de vista agrícola, é considerado o leito para o crescimento e desenvolvimento das plantas e não se renova numa escala de tempo humana (JENNY, 1980). Tem sido estudado e interpretado sob dois diferentes enfoques. O primeiro enfoque é pedológico (do grego: *pedon* = solo ou terra), o qual considera o solo um produto sintetizado pela natureza e trata da origem, morfologia, distribuição, mapeamento e classificação do solo em seu ambiente natural. O segundo enfoque considera o solo um substrato natural para os vegetais, e avalia suas características voltadas à produção de alimentos e fibras (BRADY, 1989). Este enfoque chama-se edafologia (do grego: *edaphos* = solo ou terra).

A primeira definição de solo que se tem registro foi feita pelos chineses e data de mais de 4000 anos. Para os chineses, solo era apenas “um meio de suporte e nutrição” que proporciona o desenvolvimento de plantas e a produção de alimentos. Durante o século XIX, o conhecimento sobre o solo evoluiu e Dokuchaev definiu o mesmo como corpos naturais organizados com características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, relacionadas aos processos e fatores que lhes deram origem (MEURER, 2000). No século XX, o solo foi definido como um corpo natural limítrofe entre a atmosfera e a litosfera, constituído por material mineral (argila, silte areia) e material orgânico (resto de vegetais e animais) resultantes das interações dos fatores de formação – clima, organismos, material de origem, relevo e tempo – contendo organismos vivos e partes modificadas pela atuação humana, capaz de sustentar plantas, de reter água, de armazenar e transformar resíduos e suportar edificações. Esta concepção reconhece o solo como um componente ambiental capaz de manter ou melhorar a qualidade dos diferentes ecossistemas (BECK et al., 2000).

Ao mesmo tempo, houve o reconhecimento de que este recurso não é inesgotável e que ao ser utilizado inadequadamente pode ser perdido em um período relativamente curto de tempo (NORTCLIFF, 2002). Por isso, o processo de degradação do solo é considerado uma das grandes preocupações ecológicas atuais, principalmente porque pode limitar a existência humana.

A degradação do solo é, na verdade, a redução da capacidade do mesmo de produzir, em termos qualitativos e quantitativos, bens e serviços para a humanidade (CHER, 2001). Tende a ser irreversível quando atinge grau superior à capacidade restauradora da natureza. O desafio para utilizar o recurso solo de forma sustentável está em entender a dinâmica entre as propriedades, que são manifestações características do sistema solo, por meio, dos componentes que integram o sistema (por exemplo, textura) e os atributos, que são manifestações características do sistema solo, mediante a presença de elementos de outro sistema (por exemplo, permeabilidade) (DORAN et al., 1996; REICHERT et al., 2003).

Como o solo é caracterizado por atributos e propriedades que estão funcionalmente relacionados, então estes podem ser usados para quantificar e avaliar o seu funcionamento (LARSON e PIERCE, 1994). Sendo esta a forma mais adequada de medir ou monitorar a conservação do solo ou qualquer processo de degradação em curso (DORAN et al., 1996).

2. QUALIDADE DO SOLO

2.1. Conceitos e fundamentos

Para entender o conceito de “qualidade do solo”, inicialmente é preciso entender o significado da palavra “qualidade”. A definição mais simples origina-se do latim: *qualitate*, que significa: (i) **propriedade, atributo** ou **condição** que caracteriza uma coisa e que a distingue das outras e lhes determina a natureza; (ii) **modo de ser**; (iii) **superioridade**, excelência de algo, permitindo avaliar e conseqüentemente aprovar ou recusar qualquer coisa (FERREIRA, 1986).

Segundo Doran e Parkin (1994) os usos e definições da palavra qualidade incluem: (i) caráter essencial: natureza ou tipo; (ii) uma característica inerente distintiva ou atributo: **propriedade** ou **virtude**; (iii) uma posição de caráter ou desempenho: **capacidade**; (iv) grau de excelência: **grau** ou **dimensão**.

De acordo com estes conceitos, “qualidade do solo” engloba a natureza, as propriedades e atributos do solo e os relacionam à sua capacidade para funcionar

efetivamente. Logo, considerando-se a origem da palavra qualidade, percebe-se que o conceito de qualidade do solo não se limita à produtividade agrícola. Trata-se de um conceito amplo que enfatiza a qualidade ambiental, a segurança e a qualidade dos alimentos (HABERERN, 1992).

Partindo deste pressuposto, a qualidade do solo não é uma tecnologia a ser comprada. Ao contrário, é um conceito que pode ser usado na tomada de decisões corretas para determinar o melhor manejo do solo e, conseqüentemente, contribuir para manter a qualidade ambiental (WANDER e DRINKWATER, 2000; ANDREWS et al., 2003).

Ao longo dos anos, diversos conceitos sobre a qualidade do solo foram formulados. Dentre eles, é possível citar alguns de maior relevância. Segundo a Sociedade de Ciência do Solo da América (SSSA, 1987), qualidade do solo pode ser definida como atributos ou propriedades inerentes aos solos que podem ser deduzidas através de características ou observações indiretas. Parr et al. (1992) definiram como a capacidade do solo para produzir alimentos nutritivos e de qualidade, de forma contínua e em longo prazo, permitindo assim manter ou melhorar a saúde humana e animal, sem prejudicar a base do recurso natural ou danificar o ambiente de produção. Para Larson e Pierce (1994), qualidade do solo significa à habilidade do solo para funcionar – aptidão para uso – como um meio para crescimento de plantas, dividindo e regulando o fluxo de água no ambiente, promovendo a proteção contra impactos ambientais. Doran e Parkin (1994) definiram como a capacidade de um solo para funcionar dentro dos limites do ecossistema, sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e dos animais.

A Sociedade de Ciência do Solo dos Estados Unidos e um Comitê formado por 14 pesquisadores elaboraram, em 1994, uma definição simples: "a capacidade do solo em funcionar". Uma versão expandida definiu qualidade de solo como: "a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites do ecossistema natural ou manejado, sustentando o desenvolvimento de plantas e animais, mantendo ou aumentando a qualidade da água e do ar, promovendo a saúde humana e a habitação" (KARLEN et al., 1997). Esta é a definição mais aceita atualmente. Em suma, a qualidade do solo é uma avaliação sistêmica do recurso e permite compreender a capacidade de um determinado solo desenvolver múltiplas funções no ambiente, mantendo a sustentabilidade do ecossistema.

Para Bouma (2002), os elementos que viabilizaram as definições para a qualidade do solo são lógicos, mas devem ser ressaltados para melhor compreensão. Por isso, recomenda-se a consideração de dois aspectos principais. Primeiro são os aspectos agro-ecológicos, tais como produtividade, riscos durante a produção e qualidade do solo e da água. Segundo são os aspectos econômicos, que têm forte efeito de aceitabilidade social e estão em grande parte, além do controle dos agricultores. Sendo assim, para que o conceito de qualidade do solo seja efetivamente implementado, é preciso desenvolver programas de manejo sustentável, que atendam os critérios agro-ecológicos e sejam economicamente viáveis.

Apesar do conceito de qualidade do solo ter sido construído ao longo das três últimas décadas do século XX, ainda não tem sido aceito universalmente (SOJKA e UPCHURCH, 1999). No entanto, tornou-se uma ferramenta importante para avaliar a sustentabilidade do uso do solo.

Embora exista amplo consenso sobre a importância da qualidade do solo para a sustentabilidade da vida humana no planeta, ainda existem divergências sobre como proceder sua avaliação e interpretação. Os pesquisadores geralmente concordam nas definições das propriedades do solo que determinam a sua capacidade de funcionar, e enfatizam que a qualidade do solo deve ser entendida em todo seu contexto (WANDER e DRINKWATER, 2000). Discordam em alguns itens, porque os solos possuem diversas variáveis, o que torna difícil avaliar sua qualidade para os diferentes usos. Não obstante as dificuldades e complexidade para avaliar a qualidade do solo, houve progressos na enumeração de critérios ou dados mínimos relacionados ao conceito. Os critérios mínimos devem: (i) refletir a estrutura do ecossistema terrestre e sua dinâmica, com sensibilidade para variações climáticas e impactos produzidos pelo homem; (ii) integrar parâmetros biológicos, químicos, geológicos, hidrológicos e físicos dos solos, em campo e (iii) traduzir o entendimento científico na tomada de decisões efetiva para administração do recurso solo (SPOSITO e ZABEL, 2003).

2.2. Contexto histórico

As preocupações com as características da qualidade do solo e sua preservação são antigas. Karlen et al. (1997) citam os registros de Lowdermilk [1953], “se o solo for destruído, então nossa liberdade de escolha e ação também será destruída, condenando as gerações futuras ao perigo de privações

desnecessárias”. Contudo, só no início de década de 1970, nos EUA, é que surgiram discussões relevantes sobre a avaliação e a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola, em consequência dos prejuízos econômicos, sociais e ambientais (LARSON e PIERCE, 1994).

Para Karlen et al. (2003), Warkentin e Fletcher [1977] foram os primeiros a perceberem a mudança de paradigma e sugerir o desenvolvimento do conceito de qualidade do solo, levando em consideração as múltiplas funções como: produção de alimentos, fibra, recreação e reciclagem de subprodutos, entre outras funções que o solo deve prover. Porém, a evolução e adaptação do conceito se deram mais rapidamente durante a década de 1990, em consequência dos trabalhos de Larson e Pierce (1994), Doran e Parkin (1994), Karlen e Stott (1994) e Karlen et al. (1997).

O entendimento dos cientistas sobre os diferentes aspectos de utilização do solo e as diversas demandas mundiais, em relação a este recurso, continuou impulsionando as discussões. No início de 1980, antes do conceito de qualidade do solo entrar em uso e tornar-se difundido, diversos trabalhos multidisciplinares foram realizados. Estas pesquisas refletiam as idéias de vários campos do conhecimento (WANDER e DRINKWATER, 2000). No meio da década 1980, o Senado Canadense, por meio do Comitê para o Desenvolvimento da Agricultura, preparou um relatório sobre degradação do solo e reavivou as discussões sobre qualidade do solo no mundo. Este fato estimulou o desenvolvimento do paradigma sobre qualidade do solo (SANCHEZ et al., 2003).

Segundo Nortcliff (2002), Howard publicou, em 1993, ampla revisão sobre o tema qualidade do solo na Europa, registrando que o início das discussões começaram em 1990. As percepções sobre o tema e seu fundamento eram muito diferentes, tanto na União Européia, quanto no mundo. Na última década do século XX, houveram discussões consideráveis na Europa, porém ainda não havia consenso sobre como medir a qualidade do solo. Karlen et al. (2003) relatam que, em uma conferência na Noruega, no final da década de 1990, os participantes reconheceram a complexidade deste tipo de avaliação e concordaram que, para um melhor entendimento sobre o assunto, seria preciso desenvolver estudos interdisciplinares.

No mesmo período (década de 1990), nos Estados Unidos, a Sociedade de Ciência do Solo da América (SSSA) iniciou suas contribuições para o desenvolvimento do conceito de qualidade do solo, quando o presidente da Sociedade designou um Comitê com 14 pessoas e os encarregou de discutir o

assunto. Esse grupo definiu o conceito, examinou sua razão e justificativa, além de identificar os atributos do solo que seriam úteis para descrever e avaliar a sua qualidade (KARLEN et al., 1997). O entendimento sobre qualidade do solo avançou novamente quando o Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos se reorganizou e criou o Serviço de Conservação de Recursos Naturais (NRCS) – Instituto de Qualidade do Solo, em 1995.

Para Nortcliff (2002), Singer e Ewing [1998] realçaram a falta de consenso sobre o tema, porque enquanto nos Estados Unidos a ênfase ao conceito de qualidade do solo estava voltada para a fertilidade, produtividade, sustentabilidade e qualidade ambiental, no Canadá e na Europa Ocidental o enfoque era a contaminação do solo. Ao contrário das zonas temperadas, nos trópicos, onde as principais preocupações com o ambiente solo estão relacionadas à depleção de nutrientes e a perda da matéria orgânica, o conceito de qualidade do solo focaliza três vertentes: insegurança na produção de alimentos, pobreza rural e degradação ambiental (SANCHEZ et al., 2003).

O conceito de qualidade do solo continuou evoluindo com ênfase global no uso sustentável do solo e com enfoque holístico no manejo (KARLEN et al., 2003). Doran et al. (1994) sugeriram definições promissoras, enquanto funções críticas do solo eram identificadas e sugestionadas para avaliações da qualidade.

No Brasil, os trabalhos sobre qualidade do solo inicialmente buscaram apenas avaliar e analisar as características físicas, químicas e biológicas de forma isolada sem interpretação do efeito conjunto sobre funcionamento do solo. O primeiro artigo dando enfoque ao termo qualidade, em publicações da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, foi o de Carpenedo e Mielniczuk (1990). Deste período em diante houve um grande destaque sobre o assunto. Em 2003, o XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, abordou com maior ênfase o assunto. De 1990 até 2002 aproximadamente 16 trabalhos sobre qualidade do solo foram publicados em artigos nacionais (REICHERT et al., 2003). Em 2001, Cher (2001) apresentou uma dissertação, especificamente sobre qualidade do solo, enfocando sobremaneira a qualidade biológica do solo sob florestas cultivadas.

2.3. Avaliação e componentes

Segundo Karlen et al. (1997), a avaliação da qualidade do solo pode ser analisada sobre duas perspectivas distintas: (i) como uma característica inerente ao solo, ou (ii) como a condição de melhor funcionamento ("saúde") do solo. A primeira

ênfatiza que a qualidade é inerente a cada solo e governada por seus processos de formação. Partindo deste princípio, cada solo tem uma habilidade natural para funcionar, a qual é definida por um conjunto de valores que refletem o máximo potencial de um solo para realizar uma função específica. A segunda concepção assume que, se um determinado solo está funcionando de acordo como 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 mesmos autores relatam que a avaliação da qualidade do solo pode ser realizada em diferentes escalas (Figura 1). As escalas são utilizadas para facilitar a compreensão, o monitoramento e a transição experimental das pesquisas sobre qualidade do solo. Essas informações são hierarquizadas em níveis que possibilitam sintetizar informações práticas e funcionais, que devem ser disponibilizadas à sociedade.

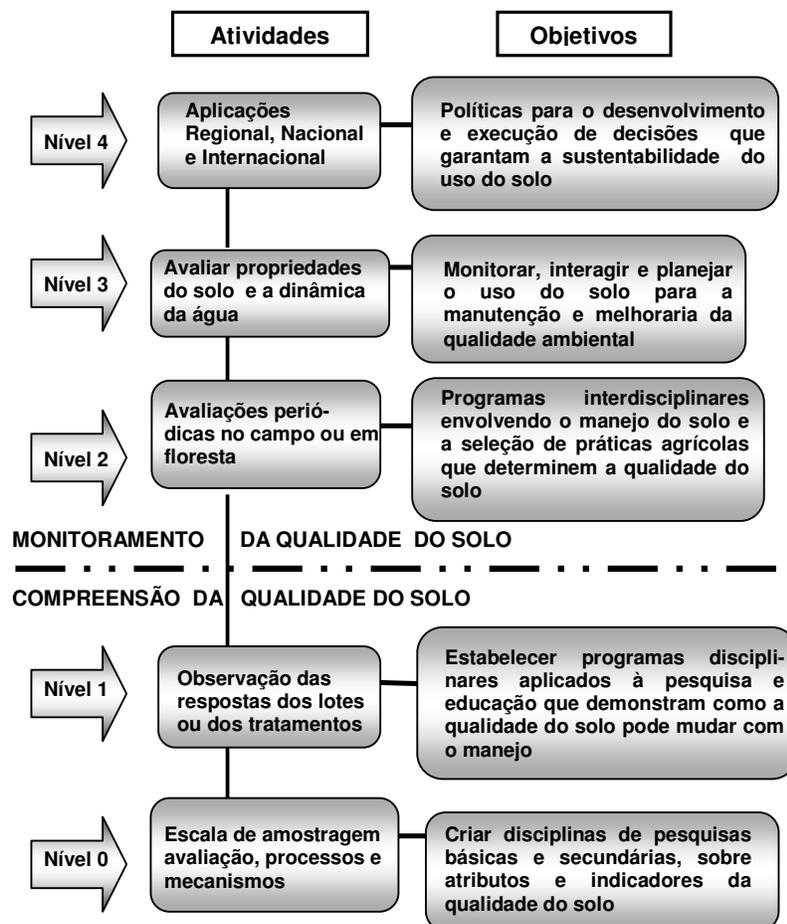


Figura 1. Múltiplas escalas para a avaliação de qualidade do solo. Modificado de Karlen et al. (1997).

Para se obter o máximo potencial de funcionamento é preciso estabelecer um referencial, o qual se refere ao solo em estado natural, sem alteração. Teoricamente, sob condições naturais, o solo expressaria o seu maior potencial pedogenético e conseqüentemente sua qualidade de máximo potencial. Neste contexto, o ideal seria que todo solo pudesse ser avaliado no estado natural de formação ou sob vegetação natural. Contudo, as áreas de florestas e vegetação natural tem sido reduzidas em todo o Mundo (LAL, 1993), restringindo significativamente as possibilidades de se estabelecer referenciais de qualidade do solo. Talvez por esta razão os estudos sobre qualidade do solo tenham como foco a camada arável (0,2 – 0,3 m) e considerem sempre a avaliação da condição do solo em relação ao uso e manejo.

Este enfoque se diferencia das pesquisas tradicionais de classificação e de interpretação das propriedades do solo, pois enfatiza a dinâmica entre as propriedades e os processos do solo (KARLEN et al., 2003). Por esta razão, a avaliação da qualidade do solo requer colaboração entre diversas disciplinas da Ciência do Solo, para examinar e interpretar os resultados de possíveis interações entre as propriedades e processos, contextualizando a avaliação numa única estratégia de manejo do solo (KARLEN et al., 1997).

2.4. Funções do solo no ambiente

Embora o conceito de qualidade do solo encontre-se relativamente bem estabelecido e crescentemente aceito, permanece difícil saber como será traduzida a natureza complexa e específica de cada solo em atributos mensuráveis, que possam refletir o seu estado de qualidade (WANDER e DRINKWATER, 2000). Uma metodologia que tem sido largamente proposta para superar essa dificuldade é a definição de funções que podem expressar os atributos da qualidade do solo, por meio de um conjunto mínimo de indicadores (DORAN e PARKIN, 1994; KARLEN e STOTT, 1994; LARSON e PIERCE, 1994). Os indicadores da qualidade são variáveis mensuráveis que representam propriedades do solo. Seja qual for o indicador, se utilizado individualmente não será capaz de descrever e quantificar todos os aspectos da qualidade do solo. Nem mesmo uma única função do solo, isolada, será capaz de fazê-lo, visto que todos os atributos do solo têm que ser comparados um com o outro (STENBERG, 1999).

Em função deste fundamento conceitual é preciso fazer avaliações das funções do solo, as quais são definidas pelos atributos e/ou propriedades físicas,

químicas e processos biológicos. Claro que estes não são independentes porque, por exemplo, o estado biológico do solo depende muito fortemente das condições físicas e químicas prevaletentes. Também não há dúvidas que uma medida sobre a qualidade física do solo poderá contribuir na avaliação global do índice de qualidade do solo, já que a qualidade química e biológica será influenciada sobre maneira por características físicas (DEXTER, 2004).

Dependendo da função para a qual uma avaliação está sendo feita, uma lista quase infinita de parâmetros pode ser utilizada. A parte consistente do fundamento é que o atributo, a propriedade ou o processo de avaliação deve: (i) de alguma maneira influenciar a função para a qual está sendo avaliado, (ii) ser mensurável e comparada a padrões definidos e (iii) deve ser sensível o bastante para descobrir diferenças em escala espacial ou temporal (KARLEN et al., 1997). Em suma, os indicadores de qualidade do solo devem ser sensíveis o bastante para refletir efeitos de prática de manejo, mas não devem ser afetados em curto prazo (DORAN et al., 1996).

A necessidade de avaliar o funcionamento dos solos, em relação às questões ambientais, foi discutida por Larson e Pierce (1994). Eles propuseram três funções diferentes associadas à boa qualidade do solo. Segundo os autores, o solo deve ter a habilidade de funcionar: (i) como um meio para crescimento de plantas, (ii) como regulador e fornecedor do fluxo de água no ambiente e (iii) como um filtro contra impactos ambientais. Os autores afirmam também que, para executar estas funções, um solo de alta qualidade deve permitir infiltração, transmissão de água e liberação de nutrientes, promover e sustentar o crescimento de raízes, manter o habitat biótico do solo satisfatório, responder ao manejo e resistir à degradação.

As funções que determinam a qualidade são expressas por meio de propriedades e atributos múltiplos do solo. Desta maneira, durante muitos anos os pesquisadores em ciência do solo identificaram debateram e concordaram com a elaboração de um conjunto de dados mínimos fixados (DMF), que representam um conjunto de atributos do solo que podem ser usados para quantificar a sua qualidade (WANDER e DRINKWATER, 2000).

Um conjunto de dados mínimos fixados (DMF) pode ser usado para avaliar quais as funções críticas do solo, associadas com cada meta de utilização. Desta maneira, é possível desenvolver uma avaliação significativa da qualidade do solo. Para realizar esta avaliação é preciso que processos biológicos e propriedades químicas possam ser combinados a medidas de indicadores físicos, com escalas de

unidades totalmente diferentes. Alguns indicadores podem ser incluídos em diferentes funções, dependendo do objetivo do estudo (ARSHAD e MARTIN, 2002). A seleção de atributos de DMF deve ser feita com base nos conhecimentos sobre o manejo do solo, que relacionam atributos edáficos com as técnicas ou práticas ideais de uso, conforme sugerem Larson e Pierce (1994) e Karlen e Stott (1994).

2.5. Indicadores de qualidade

O processo de avaliação da qualidade do solo necessariamente envolve a seleção de indicadores, os quais são atributos e/ou propriedades pedogenéticas naturais que podem ser utilizados para avaliar o comportamento de um solo específico (LARSON e PIERCE, 1994; KARLEN e STOTT, 1994; KARLEN et al., 1997; ARSHAD e MARTIN, 2002, KARLEN et al., 2003). Como o solo é caracterizado por propriedades e atributos funcionalmente relacionados, esses podem ser usados para quantificar sua qualidade (LARSON e PIERCE, 1994). Por isso, a avaliação direta das propriedades e/ou atributos do solo parece ser a forma mais adequada de medir ou monitorar a conservação do solo ou qualquer outro processo de degradação em curso (KARLEN et al., 1997).

Os indicadores formam um conjunto de dados mínimos que são utilizados para avaliar o comportamento das funções principais do solo, associadas com cada objetivo de utilização. O mesmo indicador pode ser incluído em diferentes funções e até mesmo ponderado com valores diferentes, quando utilizado em mais de uma função, dependendo da sua relação ou importância (KARLEN et al., 2003). Por exemplo, um indicador utilizado para medir a produção agrícola, também pode ser utilizado para medir a erosão do solo, mas a importância relativa (ponderador) do indicador pode ser diferente (KARLEN e STOTT, 1994).

Apesar de diversos trabalhos terem sido desenvolvidos sobre o tema, ainda não há um conjunto preciso de indicadores que possa ser utilizado universalmente para caracterizar qualidade do solo, e talvez nunca exista, devido a grande diversidade de manejo e condições climáticas em que os solos se encontram. Em sua maioria as pesquisas desenvolvidas têm enfoque mais prevalente na seleção e avaliação desses indicadores, objetivando avaliar como eles respondem aos vários tratamentos ou utilização do solo, nos diversos ecossistemas estudados (BOUMA, 2002).

Embora a seleção de indicadores possa variar de acordo com o ecossistema estudado e as metas de determinação, alguns indicadores parecem ser satisfatórios para produção agrícola, na maioria dos casos; são eles: matéria orgânica, profundidade do solo, infiltração, agregação, pH, CTC, condutividade hidráulica e porosidade (LARSON e PIERCE, 1994; KARLEN e STOTT, 1994; KARLEN et al., 1997; ARSHAD e MARTIN, 2002).

Para que um atributo ou propriedade do solo seja considerado um bom indicador, o mesmo terá que atender a alguns critérios práticos como: (i) ser acessível à maioria dos usuários (fácil medição); (ii) ser aplicável a condições de campo e comparados a medidas obtidas em laboratório; (iii) possuir critérios definidos para interpretação dos valores; (iv) permitir avaliação a curto, médio e longo prazo; e (v) ser sensível à variação de clima e manejo do solo (DORAN e PARKIN, 1994; KARLEN e STOTT, 1994).

No Quadro 1 encontram-se relacionados diversos indicadores físicos, químicos e biológicos enumerados por diversos autores.

Quadro 1. Conjunto dos indicadores físicos, químicos e biológicos do solo que podem ser utilizados para avaliar a qualidade do solo

Indicadores Físicos	<ul style="list-style-type: none"> Compactação e/ou adensamento subsuperficial; densidade do solo; encrostamento superficial; estabilidade de agregados; estrutura do solo; limites de consistência; nível de agregação; profundidade do solo; profundidade de enraizamento; porosidade (macro, micro e total); resistência à penetração; temperatura do solo; textura e velocidade de infiltração e capacidade de retenção de água no solo.
Indicadores Químicos	<ul style="list-style-type: none"> Capacidade de troca catiônica; carbono orgânico; condutividade elétrica; disponibilidade de nutrientes; fósforo; pH; potássio; presença de metais pesados; presença de elementos radioativos; nitrogênio mineral (NH_4^+ e NO_3^-); saturação por base e saturação por alumínio.
Indicadores Biológicos	<ul style="list-style-type: none"> Carbono da massa microbiana; nitrogênio da massa microbiana; nitrogênio potencialmente mineralizável; população microbiana e fungos micorrízicos; relação respiração/biomassa; relação entre carbono da biomassa total/carbono total orgânico; respiração dos organismos do solo; e taxa de decomposição de resíduos biológicos.

A grande quantidade de informação sobre indicadores de qualidade do solo na literatura refere-se a condições de clima temperado; para condições tropicais, ainda não há uma seleção específica. As informações disponíveis para essas condições são ainda pouco consistentes para realizar uma interpretação adequada e definir valores ótimos em diferentes situações. A principal dificuldade está em não haver estudos de referência que possam servir de base à interpretação e comparação, porque a maioria dos trabalhos sobre qualidade do solo tem sido realizados em ambiente de clima temperado (SANCHEZ et al., 2003).

Para a elaboração de critérios de referência é preciso desenvolver estudos específicos numa área com tipo de solo e condições climáticas similares. A obtenção de valores referenciais deve ser feita inicialmente por amostragens na área, ou por meio de dados representativos do solo em estudo, obtidos na literatura.

Os indicadores escolhidos para uma determinada avaliação devem ser testados e monitorados, permitindo, então, avaliar as mudanças da qualidade do solo ao longo do tempo ou em diferentes escalas, possibilitando identificar a heterogeneidade natural do solo, flutuações sazonais ou incertezas analíticas. Para cada região agro-climática, deve-se determinar os atributos que são mais sensíveis ao manejo, pois estes são os mais desejáveis como indicadores e para observação das mudanças na qualidade do solo (ARSHAD e MARTIN, 2002).

Utilizando as funções e atributos da qualidade do solo, vários autores têm sugerido alternativas para uma avaliação global de um conjunto de indicadores de qualidade (Figura 2). Essa estratégia constitui uma ferramenta para agregação e simplificação das informações de natureza diversa, possibilitando assim “quantificar” a qualidade do solo (SANDS e PODMORE, 2000).

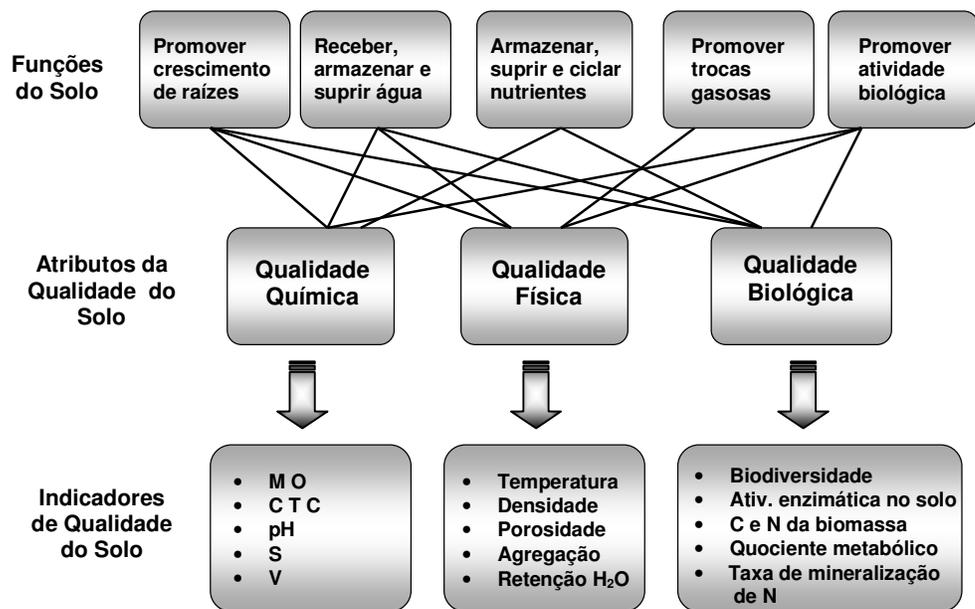


Figura 2. Funções do solo, atributos e indicadores relacionados à qualidade do solo para produção vegetal. Modificado de Cher (2001).

2.6. Determinação de índices de qualidade do solo

Para determinar um índice de qualidade do solo algumas etapas devem ser seguidas (Figura 3). Inicialmente, é importante definir as funções e selecionar os indicadores apropriados que podem ser medidos e que permitam avaliar a capacidade de um solo para um determinado uso (HUSSAIN et al., 1999). E, finalmente, é preciso entender o valor completo do índice como uma avaliação da dinâmica da qualidade do solo, que pode – dependendo do manejo – melhorar ou piorar a qualidade do solo, o que pode assegurar ou não a sustentabilidade do sistema (KARLEN et al., 2003).

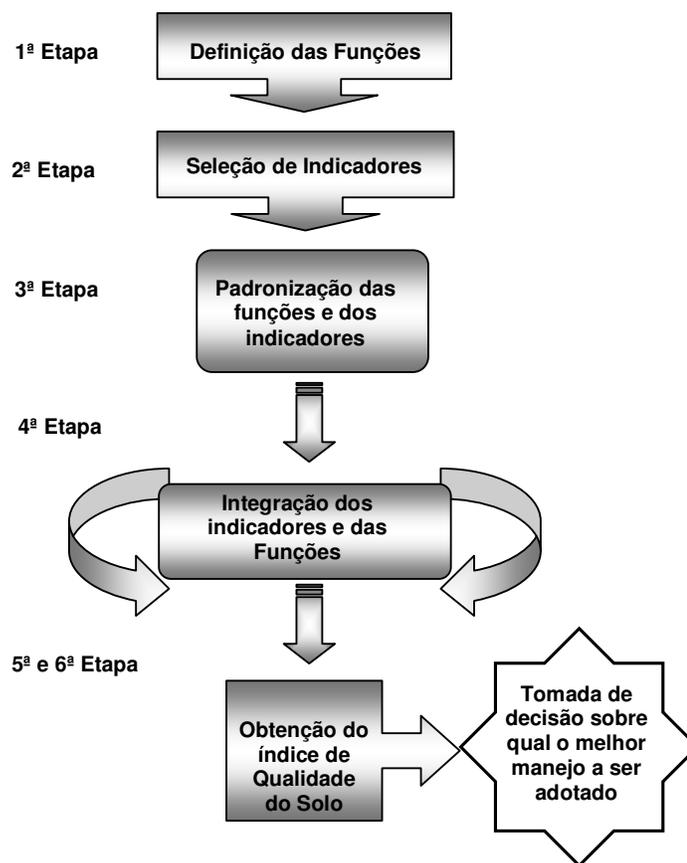


Figura 3. Etapas para a determinação de índices de qualidade do solo.

O índice de qualidade do solo resulta da soma dos efeitos dos atributos e propriedades selecionados para a avaliação (CHER, 2001). Em sua maioria, os índices evoluíram de modelos que pretendiam determinar índices de produtividade do solo. O primeiro pesquisador a calcular um índice de produtividade do solo foi Storie [1933], utilizando a morfologia do perfil e três propriedades do solo, a textura, a profundidade e a drenagem como indicadores. Storie compôs um índice de avaliação numérica que variava de 0 a 100% para cada propriedade analisada. Essa avaliação era indutiva e fundamentada, principalmente, em julgamento subjetivo relativo à influência e aos efeitos de cada propriedade do solo na produtividade do sistema: solo-planta-atmosfera (KELTING et al., 1999).

Para Larson e Pierce (1994), a qualidade do solo (Q) é dinâmica e pode ser quantificada, em função de atributos mesuráveis (q_i), que variam no tempo. Logo a qualidade do solo pode ser definida como um estado de excelência ou um padrão que pode ser expresso utilizando a seguinte equação:

$$Q = f(q_1 \dots q_n)$$

Pierce e seus colaboradores, em 1983, desenvolveram um modelo para determinar os efeitos da erosão do solo na redução da produtividade do sistema agrícola. O modelo era baseado na determinação do volume de raízes e as propriedades utilizadas foram: densidade do solo, água disponível e pH. Os níveis de suficiência eram determinados para cada propriedade do solo nos diferentes horizontes, cujo somatório resultou em uma avaliação global da qualidade do solo (KELTING et al., 1999).

Mais tarde, outros autores propuseram o desenvolvimento de um modelo matemático que combinava os atributos do solo em um índice geral de qualidade, denominado Índice de Produtividade (PI) (KELTING et al., 1999). O índice de produtividade é um modelo multiplicativo que integra variáveis do solo, medidas em campo e que definem um índice relacionado à produção vegetal (CHER, 2001). O modelo assume que as raízes terão distribuição ideal se não houver restrições do solo ao crescimento em profundidade. Caso haja alguma restrição, as raízes irão assumir uma distribuição diferente da ideal, ocasionando a redução da produtividade. Para calcular o índice PI utiliza-se a seguinte expressão:

$$PI = \sum_{i=1}^d (A \times B \times C \times D \times E \times RI)_i \quad [2]$$

onde A, B, C, D e E são valores determinados a partir de curvas de suficiência desenvolvidas para cada variável segundo o crescimento das raízes, RI é o fator peso baseado na distribuição ideal das raízes e i representa as camadas ou horizontes do solo. O modelo PI apresenta curvas de suficiência e o RI que são padronizados entre 0 (zero) e 1 (um). Quanto mais o índice PI aproximar-se do valor 1 (um), a distribuição das raízes e a produtividade aproximam-se do ideal. As curvas de suficiência são modelos que relacionam os atributos às funções da qualidade do solo. Se a função selecionada realmente melhorar a produção da planta, então, a curva de suficiência deve mostrar a relação entre cada atributo de qualidade do solo e a produtividade do sistema.

Karlen e Stott (1994) elaboraram um modelo simples para integrar os valores de suficiência em uma única avaliação da qualidade do solo. Este modelo é determinado por curvas de pontuação normalizadas, semelhantes às curvas de

suficiência. Por esse modelo, a qualidade do solo é determinada pela seguinte equação:

$$Q = qWE (wt) + qWMA (wt) + qRD (wt) + qFQP (wt) \quad [3]$$

onde a qualidade do solo (Q) é determinada pela soma de alguns atributos e habilidade do solo, como: permitir a entrada de água (*qWE*), facilitar a transferência e a absorção de água (*qWMA*), resistir à degradação (*qRD*) e sustentar o crescimento das plantas (*qFQP*), sendo *wt* o peso relativo aplicado a cada atributo.

Os pesos numéricos (*wt*) estão relacionados a cada atributo e são definidos de acordo com a interpretação empírica do pesquisador, que determinará a importância dos atributos em manter a qualidade do solo sob uma condição específica de uso.

Outro exemplo de modelo geral para avaliar a qualidade do solo é o proposto por Gale et al. (1991) citados por Cher (2001), que determina um índice do efeito líquido do manejo em um conjunto mínimo de atributos do solo:

$$IQS = \sum_{i=1}^d [(CR \times p) + (SA \times p) + (TG \times p) + (AB \times p)] \times WF_d \quad [4]$$

onde IQS é o índice de qualidade do solo, determinado pelo somatório de diversas funções do solo tais como: crescimento da raiz (CR); suprimento de água (SA); trocas gasosas (TG) e atividade biológica (AB), multiplicados pelos seus respectivos pesos (*p*) relativos a cada atributo e, finalmente, multiplicado pelo peso relativo à espessura de cada horizonte *i* do solo (*WF*).

Baseados na metodologia proposta por Wymore [1993], para suporte a decisões na engenharia, e em questões ambientais, Karlen e Stott (1994), propuseram as “standardized scoring functions” ou funções de pontuação padronizada (FPPs).

As equações das curvas de pontuação proposta por Wymore podem gerar quatro tipos de funções de pontuação padronizadas (Figura 4), as quais são usadas para avaliar a qualidade do solo. As curvas de definição de escores são geradas com base nos seguintes princípios: U – é o valor limite superior, em que qualquer valor igual ou acima deste nível recebe o valor de 1,0, exceto para curvas de respostas de valor ótimo; O – nível ótimo, o valor determinado é igual a 1,0 se a

relação desejada seguir a forma de sino normal; P – limite indesejável, o valor determinado é igual a 0 (zero) se a relação desejada seguir uma forma de sino invertido; B – é o valor do limite base (valor 0,5), para curvas de respostas em forma de sino; B1 – é o menor limite base (valor 0,5), para curvas de respostas em forma de sino; B2 – é o maior limite base (valor 0,5), para curvas de resposta em forma de sino; D – é o domínio de valores pelos quais a função de contagem é computada; em qualquer função, varia de L a U. Um aspecto a ressaltar é que a metodologia proposta por Karlen e Stott (1994) exige que a soma dos ponderadores das funções principais e dos indicadores dentro de cada uma delas seja sempre igual a 1,0 (um).

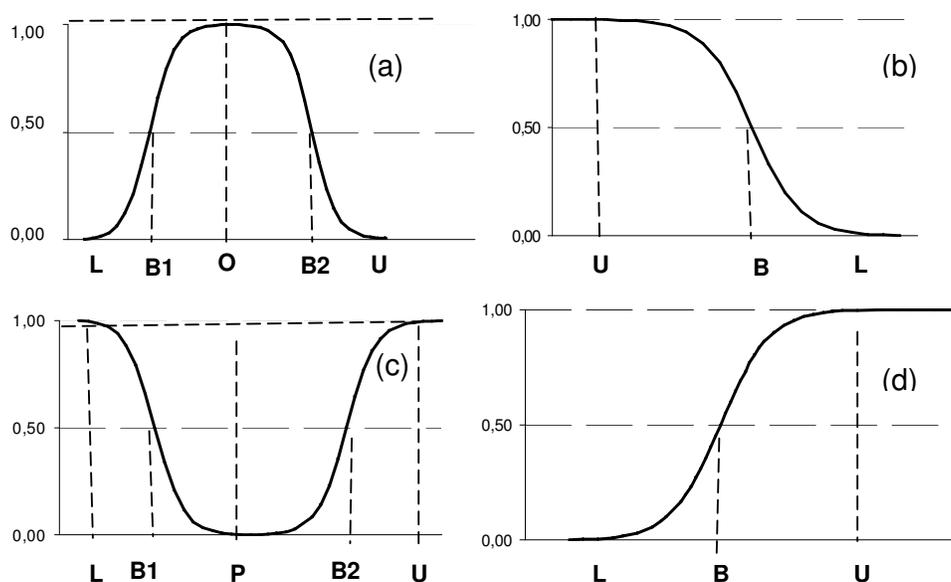


Figura 4. Formas gerais para funções de pontuação padronizadas (a) “valor ótimo”, (b) “menos é melhor”, (c) “limite indesejável” e (d) “mais é melhor”. Fonte: (KARLEN e STOTT, 1994).

Para quantificar as relações entre indicadores de qualidade e funções do solo, os autores selecionaram três FPPs para normalização de indicadores. Utilizando a equação de Wymore [1993], Karlen e Stott (1994) geraram funções de pontuação padronizada dos tipos: 1) “Mais é Melhor” [0 – 1] – indicadas para padronizar propriedades do solo em que a qualidade está associada a maiores valores, como retenção de água, capacidade de troca catiônica e matéria orgânica; 2) “Valor Ótimo” [0 – 1 – 0] – indicadas para padronizar propriedades que melhoram de forma crescente a qualidade do solo até um determinado valor considerado “ótimo”;

depois, se os valores das propriedades continuarem aumentando, a qualidade do solo será reduzida. Como a condutividade hidráulica em solo saturado, pH em água e macroporosidade, e 3) “Menos é Melhor” [1 – 0] – indicadas para padronizar propriedades em que a qualidade do solo está associada aos menores valores, tais como a densidade do solo, saturação por alumínio e resistência à penetração. Os valores numéricos das propriedades são convertidos em escores que variam de 0 (zero) a 1,0 (um) para cada indicador de qualidade do solo (Figura 4).

Os valores dos limites base são valores das propriedades do solo que estabelecem a padronização da função. Quando a propriedade do solo medida não apresenta limitações seu valor estará acima do limite base 0,5 (meio); estando em nível ótimo, será igual a 1,0 (um). Quando a propriedade do solo amostrada apresentar limitações, o seu valor será menor que 0,5 (meio); estando em nível inaceitável, seu valor será igual a 0 (zero).

Para obtenção do índice de qualidade do solo é preciso integrar as funções. Independente do número que compõem a avaliação do índice de qualidade do solo, o somatório das funções deverá ser igual a 1,0 (um). Cada função é composta por diversos indicadores de qualidade. Cada indicador influencia a função de forma diferente; por isso, são multiplicados por ponderadores que relacionam o grau de influência do indicador. Assim como as funções do solo, a soma do conjunto de indicadores de cada função deverá ser igual a 1,0 (um). Os ponderadores de cada indicador de qualidade são multiplicados pela pontuação que normaliza a medida do indicador para valores entre 0 (zero) e 1,0 (um). As curvas de padronização são geradas a partir da seguinte equação (WYMORE, 1993, citado por KARLEN et al. 1994):

$$PP = \frac{1}{1 + ((B - L) / (x - L))^{2S(B+x-2L)}} \quad [5]$$

onde PP é a pontuação padronizada; B é o valor crítico ou limite base do indicador, cujo escore padronizado recebe valor de 0,5, que geralmente estabelece o limite entre uma boa ou ruim qualidade do solo; L é o valor inicial ou mais baixo que uma propriedade do solo possa expressar, podendo receber o valor de 0; S é a inclinação da tangente da curva no limite base e x é o valor da propriedade do solo (Figura 4).

Vários trabalhos sobre qualidade do solo utilizaram o modelo de índice proposto por Karlen e Stott (1994). Como exemplo pode-se citar o trabalho de

Hussain et al. (1999). Esses autores utilizaram o modelo para avaliar a influência de diferentes sistemas de manejo na qualidade do solo sob cultivo rotacional de milho, feijão e soja, submetidos ao sistema de plantio direto e ao uso de arado de aiveca. Eles utilizaram três funções do solo, baseadas na resistência à erosão, suprimento de nutrientes e favorecimento ao desenvolvimento de raízes. Concluíram que os índices calculados diferiram significativamente e que a qualidade do solo mostrou-se mais elevada nas áreas submetidas ao plantio direto.

Glover et al. (2000) também utilizaram o modelo proposto por Karlen e Stott (1994). Eles avaliaram a qualidade do solo em sistemas de produção de maçã convencional, orgânico e integrado. Concluíram que o índice de qualidade do solo utilizado serve para avaliar os efeitos globais de produção em diferentes práticas de manejo, podendo ser aplicado também em diferentes regiões, salvo as modificações necessárias exigidas para a aplicação em cada ecossistema.

No Brasil, dois trabalhos recentes, Cher (2001) e Souza et al (2003), aplicaram criteriosamente o método de Karlen & Stott (1994). Cher (2001) modificou o IQS para avaliar o efeito de diferentes manejos na cultura do eucalipto sobre a qualidade do solo. Verificou que se trata de uma ferramenta efetiva para identificar mudanças no solo decorrentes dos sistemas de manejo e seus efeitos na qualidade do mesmo para produção de floresta cultivada, podendo-se afirmar que os índices mais elevados realmente correspondem aos solos com melhor qualidade. Souza et al. (2003) avaliaram a qualidade do solo em três diferentes classes de solos representativas dos Tabuleiros Costeiros cultivados com citros. Eles concluíram que os índices de qualidade estimados foram baixos para todos os solos estudados e que a metodologia utilizada mostrou-se adequada para avaliar a qualidade do solo e ajudar na escolha de sistemas de manejo do solo para as culturas.

3. VARIABILIDADE ESPACIAL DO SOLO

O solo é um corpo natural que apresenta heterogeneidade, tanto vertical como horizontal, decorrente do desenvolvimento dos processos e fatores de formação (clima, organismos, material de origem, relevo e tempo) e das práticas de manejo adotadas (REICHARDT et al., 1986; SILVA et al., 1989; CARVALHO et al., 2003), a qual pode interferir na produtividade do sistema solo-planta-atmosfera, tendo serias implicações agrônômicas, científicas e econômicas (COELHO, 2003).

O entendimento da variabilidade espacial do solo exige uma grande quantidade de informações, as quais podem ser obtidas a partir da avaliação de um maior número de amostras coletadas em campo (SOUZA et al., 2004). Quanto ao tamanho e a quantidade de amostras, Warrick e Nielsen (1980) afirmam que cada propriedade do solo exige graus de precisão diferenciados. Segundo Smith et al. (1993), seja qual for a metodologia utilizada para avaliar uma determinada área, ela tem que responder à variabilidade espacial das propriedades do solo no local em estudo. Este fato ressalta a necessidade de estar atento para a variabilidade espacial de cada propriedade do solo, ao escolher variáveis para indicadores de qualidade.

De acordo com Nortcliff (2002), para medir e monitorar a qualidade do solo, entendendo sua dinâmica e natureza, é preciso dimensionar sua extensão e determinar sua variabilidade espacial. Uma consideração que freqüentemente é ignorada nos estudos sobre qualidade do solo é a escala em que a avaliação está sendo realizada. As observações são geralmente baseadas em amostras isoladas, que podem constituir a qualidade de todo o horizonte amostrado ou apenas de um determinado local. A determinação da representatividade das amostras e sua variabilidade espacial só é possível quando se determina o alcance das mesmas.

3.1. Estatística clássica

Segundo a proposta de Fisher, é possível definir a estatística como a matemática aplicada aos dados de observação. Tem como objetivo organizar e analisar dados coletados, determinar as correlações que existam entre observações, para descrever e explicar o que foi observado, permitindo realizar previsões no futuro (GOMES, 1990). Sua principal importância prática está em permitir estabelecer conclusões sobre uma determinada população, a partir de uma amostragem. A dificuldade na aplicação da estatística clássica está nos efeitos dos fatores não controláveis, principalmente quando fazem parte da própria variação do objeto em estudo, como por exemplo, a fertilidade do solo. Segundo Gomes (1990), esses efeitos, sempre presentes, não podem ser conhecidos individualmente e alteram, dependendo do objetivo do estudo, os resultados obtidos.

A estatística clássica pode ser entendida utilizando duas categorias de valores, são eles: as medidas de posição e as medidas de dispersão.

Incluem-se nas medidas de posição a média, a mediana, a moda e os quartis. A média é a relação entre o somatório dos valores amostrados e o número de

amostras, que permite definir um valor representativo. A média pode ser calculada pela expressão:

$$\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i \quad [6]$$

onde z_i é o valor medido de ordem i e n é o número de amostras. Contudo, a média é uma medida susceptível à interferência de valores extremos, já a mediana, não sofre influência dos valores extremos e pode ser utilizada como medida de tendência central das amostras. A mediana corresponde ao ponto médio dos dados organizados em ordem crescente. A moda expressa a maior dominância de um valor dentro dos dados observados, ou seja, o valor que mais se repete dentro do conjunto de dados. Quando as três medidas (média, mediana e moda) coincidem, tem-se uma distribuição simétrica. Outra medida de dispersão utilizada para interpretação são os quartis, que dividem o conjunto de dados em quatro partes iguais (TRANGMAR et al., 1985; LIBARDI et al., 1997; GONÇALVES, 2000). Cada quartil representa cerca de 25% das amostras observadas, sendo o quartil inferior (Q_1) o limite inicial de 25% das observações e o quartil superior (Q_3) o limite final de 75% das observações. Os quartis permitem calcular a dispersão interquartil (dF) pela seguinte equação:

$$dF = Q_3 - Q_1 \quad [7]$$

A utilização dos quartis inferior e superior e da dispersão interquartil permite calcular os valores discrepantes em um conjunto de dados. Esses valores discrepantes são chamados “outliers” e são definidos pelas equações:

$$L.S. = (Q_3 + 1,5 \times dF) \quad [8]$$

$$L.I. = (Q_1 - 1,5 \times dF) \quad [9]$$

onde $L.S.$ e $L.I.$ são os limites superiores e inferiores, respectivamente, acima e abaixo do qual os valores são considerados “outliers”, Q_1 e Q_3 , são o primeiro e

terceiro quartil, respectivamente e dF é a dispersão interquartil (LIBARDI et al., 1996).

As medidas de dispersão quantificam a dispersão dos dados em torno da média, como a amplitude total, os coeficientes de variação, assimetria e curtose. A amplitude total é obtida pela subtração do maior valor amostrado pelo menor, sua utilização está ligada à simetria da distribuição dos dados e pode ser influenciada por valores extremos (LIBARDI et al., 1996). O coeficiente de variação expressa a dispersão, independente das unidades de medidas envolvidas, permitindo, por tanto, a comparação da dispersão entre diferentes variáveis (WARRICK e NIELSEN, 1980). É obtido pela divisão do desvio padrão pela média dos dados. O coeficiente de assimetria é o terceiro momento em torno da média, e permite verificar o quanto a distribuição dos dados é simétrica. O coeficiente de curtose é o quarto momento em torno da média e permite verificar o grau de concentração da variável, tomando-se a curva normal como referência (mesocúrtica). Para distribuição normal os coeficientes de assimetria e curtose são nulos e a distribuição tem forma de sino (GONÇALVES, 2000).

Segundo Trangmar et al. (1985), a estatística clássica assume que um valor medido é em parte explicado por um modelo estatístico (equação 10) e em parte pela variação devido ao acaso. Assim, o valor de uma propriedade z , medido em uma posição x pode ser representada por:

$$z(x) = \mu + e(x) \quad [10]$$

em que μ é uma média populacional ou a esperança de z e $e(x)$ são os desvios dos valores em torno da média, assumindo-se como sendo aleatórios, independentes espacialmente e com distribuição normal de média zero e variância σ^2 .

Para Carvalho et al. (2002), a estatística clássica assume que a média das amostras é o melhor estimador das características do solo dentro da unidade amostral e que a variação das características do solo dentro destas unidades não são correlacionadas. Por este conceito, o número de amostras necessário para estimar o valor médio das características de um solo é definido por:

$$n = \left[\frac{(t_\alpha \cdot CV)}{d} \right]^2 \quad [11]$$

em que n é o número de amostras necessário para estimar a média μ , d é a percentagem de variação em torno da média que se deseja detectar, t_α é a estatística t de Student, referente a um determinado nível de probabilidade α , e CV é o coeficiente de variação. Normalmente, o uso da estatística clássica exige um grande número de amostras para estimar o parâmetro em estudo com determinada precisão (MELO FILHO et al., 2002). Por isso, Souza et al. (1997) afirmam que o estudo da dependência espacial das propriedades do solo pode reduzir o número de amostras em relação ao uso dos procedimentos amostrais definidos na estatística clássica, muito embora outras técnicas mais refinadas também possam ser aplicadas com o mesmo objetivo, como fizeram Melo Filho et al. (2002) ao utilizarem o método de “bootstrap” para estimar o número de amostras para umidade e potencial mátrico no solo.

3.2. Geoestatística

A geoestatística dedica-se ao estudo da distribuição e da variabilidade de um conjunto de variáveis, em função do seu arranjo espacial ou temporal.

O principal propósito da geoestatística é identificar, na aparente desordem dos dados, uma medida de correlação espacial, ou seja, explicar parte daquilo que seria considerado influência do acaso ou uma variação aleatória (GOMES, 1990).

Tendo como base a teoria das variáveis regionalizadas, a geoestatística, segundo Matheron [1971], citado por Gonçalves (1997), é a aplicação de funções aleatórias para o conhecimento e a estimativa de fenômenos naturais. Possibilita a descrição quantitativa da variação espacial no solo, uma estimativa não tendenciosa e de variância mínima de valores da propriedade em locais não amostrados, permite a construção de mapas de valores e permite também a identificação de esquemas de amostragem eficientes com o mínimo de esforço.

Na natureza, os atributos do solo não são uniformes, porém também não são totalmente aleatórios, mas sim apresentam uma estrutura de dependência espacial. Mesmo em uma área caracterizada como homogênea existem variações de algumas das diversas propriedades do solo ou do sistema de produção vegetal (GONÇALVES, 2000).

Na verdade, a variação das propriedades do solo no espaço comumente apresenta dois componentes, o sistemático e o aleatório. Wilding e Drees (1983) descrevem a variabilidade sistemática como sendo as mudanças graduais nos valores da propriedade, que ocorrem em função dos fatores de formação ou dos

processos que atuam dentro da escala de observação. Journel e Huijbregts (1991) definem o componente aleatório como uma função que associa cada valor s , em um espaço amostral S , a um número real $Z(s)$, o qual deve variar segundo alguma lei de distribuição de probabilidade. De acordo com os autores uma variável regionalizada $Z(s)$ é uma variável aleatória que assume diferentes valores de z em função da posição “ s ” dentro de uma certa região.

Carvalho et al. (2002) afirmam que as variações nas propriedades do solo correlacionam-se com a posição no espaço, ou seja, dois valores tomados próximos um do outro tendem a ser mais semelhantes entre si do que dois valores tomados mais afastados, até uma distância limite, correspondente ao domínio destas propriedades. Caso isto ocorra, os dados não podem ser tratados como independentes e um tratamento estatístico mais adequado é necessário.

Os métodos da estatística clássica assumem que o valor médio de uma propriedade de solo em uma região amostrada é igual ao valor desta propriedade em qualquer ponto da região, sendo seu erro correspondente à variância dos dados amostrais (TRANGMAR et al. 1985). Deste modo, assume-se que a variabilidade em torno da média é aleatória e independente da posição espacial dos valores amostrais. No entanto, alguns trabalhos (REICHARDT et al., 1986; SOUZA et al., 1996; MELO FILHO et al., 2002), mostram que a variabilidade de propriedades do solo é espacialmente dependente, ou seja, dentro de um certo domínio as diferenças entre valores de uma propriedade do solo podem ser expressas em função da distância de separação entre os pontos medidos.

A geoestatística utiliza correlogramas e semivariogramas para avaliar a dependência espacial entre as grandezas medidas e o alcance ou domínio de cada observação, para melhor compreensão dos resultados (REICHARDT et al., 1986; CARVALHO et al., 2002). Segundo Reichardt et al. (1986), o semivariograma é um gráfico de coeficiente $\gamma(h)$ obtido por meio do quadrado da diferença entre valores regionalizados espaçados de h e pode ser estimado pela seguinte equação:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad [12]$$

em que $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados pela distância h , se a variável for escalar. O gráfico de $\gamma^*(h)$ versus os valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é uma função do vetor h , e

portanto depende de ambos, magnitude e direção de h . Para $h = 0$, a diferença entre as amostras é nula, resultando $\gamma(0) = 0$, aumentando-se o valor de h , $\gamma(h)$ geralmente vai aumentando.

Segundo Vieira (2000), o semivariograma ($\gamma(h)$) determina a dependência entre as amostras, mede a variabilidade das diferenças entre as variáveis aleatórias, bem como o alcance da influência de cada ponto amostral em duas ou três direções.

Antes da utilização do $\gamma(h)$ é aconselhável examinar o seu comportamento para as várias direções. As principais direções são: 0° – na direção do eixo X, 90° – na direção do eixo Y, 45° e -45° – nas duas diagonais. Quando o gráfico de $\gamma(h)$ é idêntico para qualquer direção de h ele é chamado de isotrópico, caso mais simples e menos freqüente na natureza. Porém, quando há diferenças entre as direções ele é considerado anisotrópico e deve sofrer transformações antes de ser usado (VIEIRA, 2000).

3.2.1. Características dos semivariogramas

Um modelo de semivariograma experimental com suas características padrão e os principais parâmetros que o compõem estão representados na Figura 5. O modelo demonstra que, à medida que aumenta-se h , a $\gamma(h)$ também aumenta até atingir um valor constante, próximo da variância populacional, demonstrando que, quanto mais próximas entre si as observações, mais semelhante será seu comportamento, e quanto mais distantes forem as observações menor sua semelhança; logo, $\gamma(h)$ aumenta com a distância h (VIEIRA, 2000; CAMARGO, 2002).

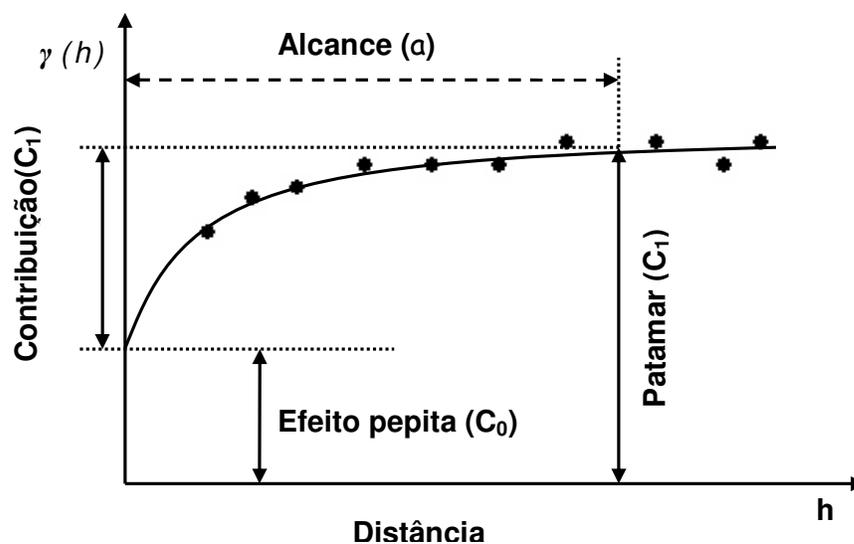


Figura 5. Representação esquemática de semivariograma padrão com seus respectivos parâmetros.

Segundo Vieira (2000) os parâmetros de avaliação do semivariograma experimental são:

- Efeito pepita ou “Nugget effect” (C_0): revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte desta descontinuidade pode ser também atribuída a erros experimentais de medição; contudo, é impossível distinguir os erros de medição da variabilidade em uma escala menor do que a amostrada.
- Patamar ou “Sill” ($C_0 + C_1$): é o valor no qual o $\gamma(h)$ se estabiliza e é aproximadamente igual à variância dos dados, pois, a partir do valor do patamar, considera-se que não existe dependência espacial entre as amostras.
- Alcance ou “ranger” (a): é a distância limite de dependência espacial, ou seja a distância na qual o $\gamma(h)$ atinge o patamar. Medições localizadas a distâncias maiores que o alcance têm distribuição espacial aleatória. Logo, o alcance é o limite entre a aplicação da geoestatística e da estatística clássica.

Se o semivariograma, ao invés de ser crescente e dependente de h (Figura 5) for constante e igual ao patamar ($C_0 + C_1$) para qualquer valor de h , então tem-se um “efeito pepita puro” ou total ausência de dependência espacial. Isso significa que o alcance (a), para os dados em questão, é menor que o menor espaçamento entre amostras.

3.2.2. Modelos de semivariograma

Os modelos utilizados para ajustar o semivariograma podem ser divididos em dois tipos: sem patamar e com patamar. O primeiro modelo é utilizado para ajustar fenômenos que possuem capacidade infinita de dispersão. O segundo é utilizado para ajustar fenômenos que possuem capacidade finita de dispersão. Independente de qual tipo de modelo está sendo ajustado, é importante que o mesmo represente a tendência de $\gamma(h)$ em relação a h . O procedimento de ajuste dos modelos do semivariograma não é automático, mas sim interativo, pois o intérprete faz inicialmente um ajuste e verifica a adequação do modelo teórico aos dados. Depois verifica a existência de dados anormais ou de tendência na área, que possam estar

perturbando ou invalidando o ajuste. Existindo estes valores, o intérprete pode retirá-los e novamente ajustar o modelo (VIEIRA, 2000).

Para o ajuste do semivariograma utilizam-se os seguintes modelos matemáticos:

a) Modelo esférico:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], \quad 0 < h < a \quad [13]$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1, \quad h \geq a; \quad [14]$$

b) Modelo exponencial:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-3 \frac{h}{a}\right) \right], \quad 0 < h < d \quad [15]$$

c) Modelo gaussiano:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-3 \left(\frac{h}{a}\right)^2\right) \right], \quad 0 < h < d \quad [16]$$

em que d é a máxima distância na qual o semivariograma é definido;

Nos três modelos acima, C_0 é o efeito pepita, $C_0 + C_1$ é o patamar, e a é o alcance do semivariograma.

4. PADRÕES DE AMOSTRAGEM

Os esquemas de amostragem empregados na experimentação devem seguir critérios específicos e diferenciados (REICHARDT et al., 1986), que são dependentes do tratamento estatístico adotado.

O procedimento mais comum utilizado pela estatística clássica na obtenção de amostragem de solo é a retirada de amostras aleatórias simples, com base nos princípios da independência e casualização dos pontos de amostragem. Neste caso, a posição relativa de cada amostra não é levada em consideração e o produto da avaliação é a estimativa do valor médio e da variância (LIBARDI et al., 1986).

De acordo com a geoestatística, o padrão de amostragem normalmente utilizado em estudos de solos é a amostragem sistemática, na qual os pontos de amostragem são localizados em intervalos regulares. Os pontos de amostragem podem seguir uma disposição linear, em uma transeção, onde os pontos seguem

uma direção x , e são separados por uma distância L , denominada “lag” (espaçamento), ou seguindo um “grid” (malha) nas direções x e y , separados por uma mesma distância L , nas duas direções, isto garante uma cobertura total da área (REICHARDT et al., 1986). Libardi et al. (1986) salientam que o conhecimento da posição das amostras possibilita avaliar a dependência espacial entre os valores medidos. Para Karlen et al. (2003) reconhecer a complexidade, a variabilidade espacial e temporal e os efeitos dos fatores externos são imprescindíveis ao estudo da qualidade do solo.

5. TABULEIROS COSTEIROS

O termo Tabuleiros Costeiros é utilizado para designar feições geomorfológicas ou de superfície do tipo tabular, dissecada por vales profundos com encosta de forte declividade, próximas ao oceano Atlântico (NASCIMENTO, 2001). O relevo em sua maioria é suave ondulado, podendo apresentar, na sua parte interiorana, superfícies onduladas, e nas áreas de dissecações, relevo forte ondulado que raramente ultrapassam a 30% de declividade (ARAÚJO, 2000). Os Tabuleiros estendem-se por quase toda a costa brasileira, desde o Rio de Janeiro até o Amapá (Figura 6); em toda sua extensão, a altitude desta formação geológica varia muito, podendo apresentar altitudes de 20 a 220 metros (JACOMINE, 1996).

Devido à sua grande extensão, os solos de tabuleiros encontram-se sob grande variação climática. No litoral, as áreas são predominantemente úmidas, com médias de precipitação de 1.000 a 2.300 mm/ano. A temperatura média anual está compreendida entre 23 e 24 °C na Bahia (JACOMINE, 1996).

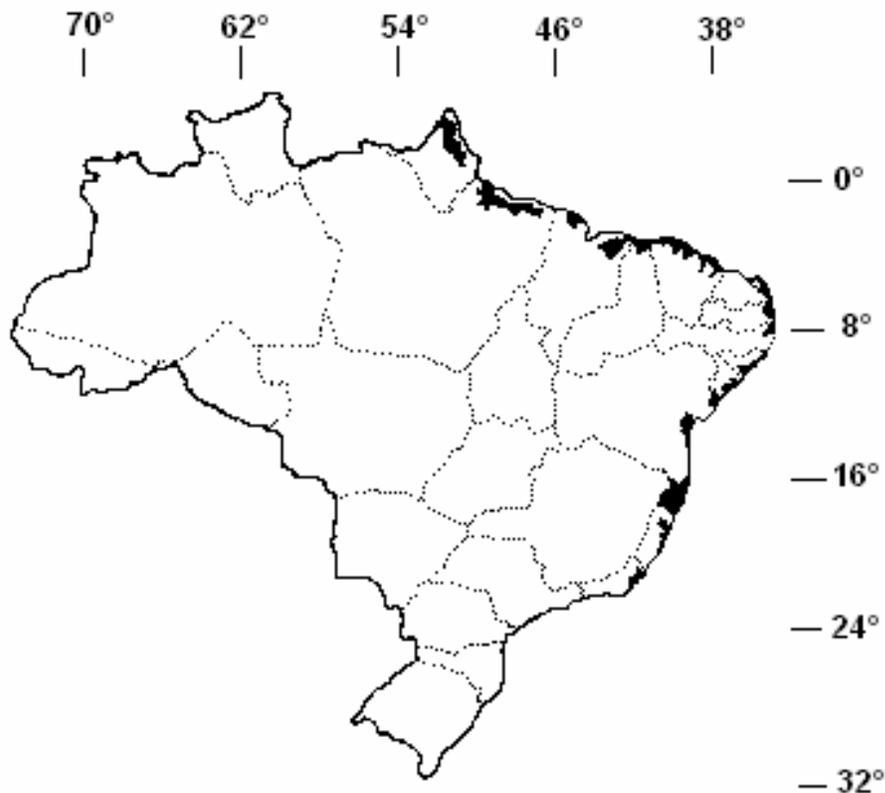


Figura 6. Disposição dos Tabuleiros Costeiros em todo Brasil. Modificado de Embrapa (1981).

O ecossistema vegetal dos Tabuleiros Costeiros apresenta grande diversidade de espécies. São encontradas vegetação típica de floresta equatorial, representada pela Mata Atlântica ou Mata de Tabuleiro, florestas tropicais subcaducifólia e caducifólia, cerrado e caatinga (KINDEL e GARAY, 2001; JACOMINE, 1996).

A formação geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros no Brasil são extensas formações terciárias compostas por depósitos sedimentares da Formação Capim Grosso e/ou Barreiras (RIBEIRO, 1998), limitados a oeste por morros do cristalino e a leste por baixadas litorâneas (Figura 7). Segundo Jacomine (1996), as áreas provenientes de sedimentos Barreiras ou similares pode atingir a extensão de 200.000 km², em todo o País, sendo consideradas em todo o Mundo a maior ocorrência de formações de sedimentos do Terciário dentro de um único país ou mesmo dentro de um continente (NASCIMENTO, 2001).

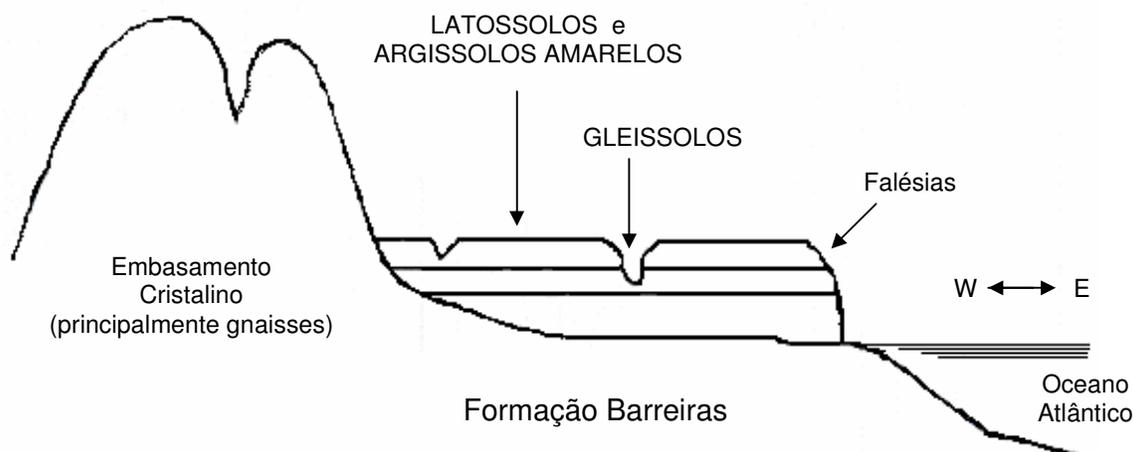


Figura 7. Corte representativo dos Tabuleiros Costeiros do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Bahia. Modificado de Rezende (2000).

5.1. Solos dos Tabuleiros Costeiros

Os solos de Tabuleiro ocupam uma área total de cerca de 20 milhões de hectares, em todo o Brasil, estendendo-se da faixa costeira até as terras do médio e baixo vale do rio Amazonas e seus afluentes, nos Estados do Maranhão e Piauí, e nas zonas semi-áridas de Pernambuco e Bahia, estendendo-se até a região de Minas Gerais (REZENDE, 2000). Na Região Nordeste, a estimativa da área total apresenta algumas divergências. Segundo Jacomine (1996) são cerca de 6,4 milhões de hectares; Sobral et al. (2002) afirmam ser 8,4 milhões de hectares; para a EMBRAPA (1993), são cerca de 9,8 milhões de hectares e Souza et al. (2002a) totalizam cerca de 10 milhões de hectares, correspondendo a aproximadamente 16% da área total dos estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará.

Diversos solos ocupam as áreas de domínio dos Tabuleiros Costeiros, porém, destacam-se como predominantes os LATOSSOLOS AMARELOS, os ARGISSOLOS AMARELOS, NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS e ESPODOSSOLOS, que têm suas distribuições geográficas definidas e quantificadas por Estado na Tabela 1. Segundo Jacomine (1996), apenas no litoral os LATOSSOLOS AMARELOS representam cerca de 67,5% e os ARGISSOLOS cerca de 25% da área total.

Tabela 1. Área ocupada pelos solos dos Tabuleiros Costeiros no litoral oriental do Brasil. Modificado de Jacomine (1996).

EXTENSÃO NO LITORAL ORIENTAL DO BRASIL POR ESTADO (em hectares)									
SOLOS	RN	PB	PE	AL	SE	BA	ES	RJ	Total
LATOSSOLO AMARELO	201	-	107,1	315,3	55,9	2.551	958	143,7	4.332
ARGISSOLO AMARELO	-	230,2	154,7	131,2	74	1.025	-	-	1.615
ESPODOSSOLO	-	27,5	-	20,4	-	-	-	-	47,9
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO	252	113,7	-	-	62,8	-	-	-	428,5
Total por Estado	423	371,4	261,8	466,9	192,7	3.576	958	143,7	6.423,5

Os LATOSSOLOS AMARELOS característicos dos Tabuleiros Costeiros apresentam o caráter coeso, quando secos, mesmo sob condições de vegetação natural. Em geral, o horizonte coeso encontra-se em profundidades variáveis entre 20 e 60 cm, que normalmente corresponde aos horizontes AB e/ou BA, podendo chegar ao topo do B (JACOMINE, 1996; REZENDE, 2000). Apresentam horizontes superficiais que variam do “A” moderado ao “A” fraco e, em locais agricultáveis, normalmente encontra-se um A antrópico. O horizonte “B” pode apresentar matizes 10YR, 7,5YR e 5Y, com valores e cromas, via de regra, iguais ou maiores que 5 (cinco). A textura varia de franco-arenosa a muito argilosa, com estruturas fracas a moderadas que variam de granular a blocos subangulares pequenos a médios (JACOMINE, 1996; RIBEIRO, 1998).

A importância social e econômica dos Tabuleiros Costeiros é percebida pela concentração urbana de cerca de 45% da população de sete Estados do Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe), apresentando densidade demográfica em toda área de aproximadamente 123 hab/km² (SOBRAL et al., 2002). No entanto, para Araújo (2000), a densidade demográfica em geral diminui do litoral (1.200 hab/km²) para o interior (15 hab/ km²). Esta região é responsável pela diversidade de produção agrícola e por grande parte da produção agropecuária do Nordeste. Segundo o Plano Diretor da

EMBRAPA/CPATC realizado em 1994, somente a região dos Tabuleiros Costeiros representada pelos estados do Nordeste foi responsável por 26,4% do PIB gerado por culturas temporárias e 38,2% do PIB gerado por culturas permanentes (REZENDE, 2000). Esta área ainda dispõe de ampla infra-estrutura de transporte rodoviário e terminais marítimos para o escoamento da produção; contudo, existe nesta região uma demanda reprimida por produtos agrícolas, porque as atividades agropecuárias têm sido inviabilizadas pelas baixas produções e alta relação custo/benefício (CINTRA et al., 1997).

A principal causa da baixa produtividade agrícola em solos de Tabuleiros Costeiros é a presença do horizonte coeso, que restringe o crescimento radicular em profundidade e limita o movimento da água ao longo do perfil. Somados à presença do horizonte coeso, é possível citar como outras limitações a produtividade agrícola os períodos de déficit hídrico e os baixos teores de nutrientes encontrados nestes solos (SOUZA et al., 2002b).

Os estudos sobre a gênese dos horizontes coesos, não permitem, ainda, concluir sobre os processos de formação que os originaram. Porém, mesmo sem entender os processos de formação é de extrema importância compreender as características edáficas desses horizontes, para propor um manejo sustentável para os solos desta região (RIBEIRO, 1998).

Ao analisar as características edáficas e limitações agrícolas dos solos de tabuleiros, Souza (1996) concluiu que, para potencializar a produtividade agrícola, necessariamente, as interferências do manejo devem tentar: (i) melhorar o crescimento radicular em profundidade – aumentando a superfície de absorção de água e nutrientes pela planta, (ii) melhorar a dinâmica e o armazenamento de água – minimizando o déficit hídrico comum em alguns meses do ano e (iii) melhorar as propriedades químicas do solo – visando aumentar o suprimento de nutrientes.

Os objetivos do presente trabalho foram determinar o índice de qualidade do solo (IQS) e a variabilidade espacial do IQS em um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico (LAX) dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural.

LITERATURA CITADA

ANDREWS, S. S.; FLORA, C. B.; MITCHELL, J. P.; KARLEN, D. L. Growers' perceptions and acceptance of soil quality indices. **Geoderma**. v. 114, p. 187 – 213, 2003.

ARAÚJO, Q. R. **Solos de tabuleiros costeiros e qualidade de vida das populações**. Ilhéus: Editus, 2000. 97 p.

ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 88, n. 2, p. 153 – 160, feb. 2002.

BECK, F. L.; BOHNEN, H.; CABEDA, M. S. V.; CAMARGO, F. A. O.; KÄMPF, N.; MEURER, E. S. **Projeto pedagógico – ensino de graduação**. Porto Alegre – RS, UFRGS, Departamento de Solos, 2000, 26 p. (Boletim técnico n. 6).

BOUMA, J. Land quality indicators of sustainable land management across scales. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 88, n. 2, p. 129 – 136, feb. 2002.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898 p.

CAMARGO, E. C. G. Disponível em: <www.ltid.inpe.br> acesso em: fev. 2003.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de latossolo roxo, submetidos a diferentes sistemas de manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 14, n. 1, p. 99 – 105, jan./mar. 1990.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 37, n. 8, p. 18 – 26, aug. 2002.

CARVALHO, M. P.; TEKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 27, n. 4, p. 695 – 703, jul./ago. 2003.

CHER, G. M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

CINTRA, L. D. C.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. **Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil**: uma análise dos efeitos do regime hídrico e da presença de camadas coesas nos solos. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, n. 18, p. 81 – 95, 1997. (Boletim informativo)

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal do solo e das culturas. In: **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 249 – 290.

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, n. 3/4, p. 201 – 214, jun., 2004.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: **Defining soil quality for a sustainable environment**. Doran, J. W. et al. Madison, Wisconsin,

USA, Soil Science Society of America (SSSA), 1994, p. 3 – 21, (Special publication, 35).

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A.; Soil health and sustainability. In: Sparks, D.L. (Ed.), **Advances in Agronomy**, San Diego, CA, v. 56, p. 1 – 54, 1996.

EMBRAPA/CNPS. **Zoneamento agroecológico do nordeste**: diagnostico do quadro natural e agrossocioeconômico. Petrolina, PE: EMBRAPA-CATSA; Recife: EMBRAPA-CNPS. Coordenadoria Regional Nordeste, 1993, v. 2.

EMBRAPA. Serviço nacional de levantamento e conservação de solo. **Mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1981.

FERREIRA, A. B. de H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 2 Ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986. 1838 p.

GLOVER, J.D.; REGANOLD, J.P. e ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture Ecosystems and Environment**. v. 80, n. 1 – 2, p. 29 – 45, aug. 2000.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13 ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468 p.

GONÇALVES, A. C. A. **Variabilidade espacial das propriedades físicas do solo para fins de manejo da irrigação**. 1997. 118 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

GONÇALVES, A. C. A. **Geoestatística aplicada ao estudo da variabilidade espacial em ecossistemas**. Curso de especialização em solos e meio ambiente. Maringá, 2000. 69 p.

HABERERN, J. Coming full circle – the new emphasis on soil quality. **American Journal of Alternative Agriculture**. v. 7, n. 1, p. 3 – 4, 1992.

HUSSAIN, I.; OLSON, K.R.; WANDER, M.M.; KARLEN, D.L. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. **Soil and Tillage Research**. v. 50, n. 3 – 4, p. 237 – 249, may, 1999.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificações dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS. 1996, Cruz das Almas. **Anais...**, Cruz das Almas: EAUFB/GVFB, EMBRAPA/CNPMPF, 1996, p. 13 – 26.

JENNY, H. The soil resource: origin and behavior. **Ecology Studies**. v. 37, n. 1, p. 4 – 10, 1980.

JOURNEL, A. C.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: academic press, 1978. 600p.

KARLEN, D. L. Soil quality as an indicator of sustainable tillage practices. **Soil and Tillage Research**. v. 78, n. 2, p. 129 – 130, aug. 2004.

KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A.; ANDREWS S. S. Soil quality: why and how? **Geoderma**. v. 114, n. 3 – 4, p. 145 – 156, 2003.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G., HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (A guest editorial). **Soil Science Society of American Journal**. v. 61, n. 1, p. 4 – 10, jan./feb. 1997.

KARLEN, D. L.; WOLLENNHAUPT, D. C.; ERBACH, E. C. BERRY, J. B.; SWAN, N. S.; EASH, E.; JORDAHL, J. L. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. **Soil and Tillage Research**. v. 31, p. 149 – 167, 1994.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J. W. et al. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, WI, Soil Science Society of America, 1994, p. 53 – 72, (Special Publication, 35).

KELTING, D.L.; BURGER, J.A.; PATTERSON, S.C.; AUST, W.M.; MIWA, M. e TRETTIN, C.C. Soil quality assessment in domesticated forests – a southern pine example. **Forest Ecologic Manage**. v.122, n. 1 – 2, p. 167 – 185, sept. 1999.

KINDEL, A.; GARAY I. Caracterização de ecossistemas da mata atlântica de tabuleiros por meio das formas de húmus. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 25, n. 3, p. 551 – 563, jun./set. 2001.

LAL, R. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. **Soil and Tillage Research**. v. 27, n. 1 – 4 , p. 1 – 8, oct.1993.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: Doran, J. W. et al. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, WI, Soil Science Society of America, 1994, p. 37 – 52, (Special Publication, 35).

LIBARDI, P. L.; PREVEDELLO, C. L.; PAULETTO, E. A.; MORAES, S. O. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 10, n. 2, p. 85 – 90, mai./ago.1986.

LIBARDI, P. L.; MANFRON, P.A.; MORAES, S. O.; TUON, R. L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 20, n. 1, p. 1 – 12, jan./mar. 1996.

MEURER, E. J. **Fundamento de química do solo**. Porto Alegre: Gênese, 2000. 174 p.

MELO FILHO, J. F.; LIBARDI, P. L.; LIER, Q. J. V; CORRENTE, J. E. Método convencional e “bootstrap” para estimar o número de observações na determinação dos parâmetros da função K (θ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 26, n. 4, p. 895 – 903, out./dez. 2002.

NASCIMENTO, G. B. **Caracterização dos solos e avaliação de propriedades edáficas em ambiente de tabuleiro costeiro da região norte fluminense (RJ)**. 2001. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Univ. Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.

NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 88, n. 2, p. 161 – 168, feb. 2002.

PARR, J. F.; PAPENDICK, R. I.; HORNICK, S. B.; MEYER, R. E. Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. **American Journal Alternative Agriculture**. v. 7, n. 1, p. 5 – 11, 1992.

REICHERT J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA J. A. Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29. 2003, Ribeirão Preto. **Anais ...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD – ROM.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Piracicaba: Manole, 1990. 188p.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, n. 1, jan./abr. p. 1 – 6, 1986.

REZENDE, J. O. **Solos coesos dos tabuleiros costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI-SPA, 2000. 117 p. (Série estudos agrícolas, n. 1).

RIBEIRO, L. P. **Os Latossolos Amarelos do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação**. Salvador: Seplantec – CADCT, 1998. 99 p.

SANCHEZ, P. A.; PALM, C. A.; BUOL, S.W. Fertility capability soil classification: tool to help assess soil quality in the tropics. **Geoderma**. v.114, n. 3/4, p. 157– 185, 2003.

SANDS, G.R.; PODMORE, T.H. A generalized environmental sustainability index for agricultural systems. **Agriculture Ecosystems and Environment**. v. 79, n. 1, p.29 – 41, 2000.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da resistência à penetração de um LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO ao longo de uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 13, n. 1, p. 1 – 5, jan./mar 1989.

SMITH, J. L.; HALVORSON, J. J.; PAPENDICK, R. I. Using multiple-variable kriging for evaluating soil quality. **Soil Science Society American Journal**. v. 57, n. 3, p. 743 – 749, mai./jun. 1993.

SOBRAL, L. F.; PEREIRA, M. I.; RANGEL, J. H. A.; CINTRA, F. L. D. Avaliação crítica da história de uso dos tabuleiros costeiros do nordeste do Brasil. In: ARAÚJO, Q. R. A. (Org.) **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: Editus, 2002. p. 447 – 462.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICAN. **Glossary of soil science terms**. SSSA, Madison, 1987, 50 p.

SOJKA, R. E., UPCHURCH, D. R. Reservations regarding the soil quality concept. **Soil Science Society of America Journal**. v. 63, n. 5, p.1039 – 1054, sep./oct. 1999.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.8, n.1, p. 51 – 58, jan./abr. 2004.

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 1, 2003. CD – ROM.

SOUZA, L. S.; BORGES, A. L.; CINTRA, F. L. D.; SOUZA, L. D.; MELLO IVO, W. M. P. Perspectivas de uso dos solos dos Tabuleiros Costeiros. In: ARAÚJO, Q. R. A. (Org.) **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilhéus: Editus, 2002a. p. 521 – 580.

SOUZA, L. S.; PAIVA A. Q.; SOUZA, L. D.; COGO, N. P. Água no solo influencia pela posição na paisagem, em uma topossequência de solos de tabuleiro do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 26, n. 4, p. 843 – 855, out./dez. 2002b.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 1 – 10, jul./set.1997.

SOUZA, L. S. Uso e manejo dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS. 1996, Cruz das Almas. **Anais...**, Cruz das Almas: EAUFB/GVFB, EMBRAPA/CNPMP, 1996, p. 36 – 75.

SOUZA, L. S.; DINIZ, M. S.; CALDAS, R. C. Correção da interferência da variabilidade do solo na interpretação dos resultados de um experimento de cultivares/clones de mandioca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 20, n. 1, jan./mar, p. 441 – 445, 1996.

SPOSITO, G; ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geoderma**. v. 144, n. 3 – 4, p. 143 – 144, 2003.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Soil and Plant Science**. v. 49, n. 1, p. 1 – 24, feb. 1999.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; WADE, M.K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.38, n.1, p.45 – 94, 1985.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: **Tópicos em ciência do solo**, v. 1, Viçosa, .Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 2 – 54, 2000.

WANDER, M. M.; DRINKWATER, L. E. Fostering soil stewardship through soil quality assessment. **Applied Soil Ecology**. v. 15, n. 1, p. 61 – 73, aug. 2000.

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, p. 20 – 45.

WILDING, L. P.; DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; HALL, G. F. Pedogenesis and soil taxonomy. I. concepts and interactions. **Elsevier Science**. p. 83 – 116, 1983.

CAPÍTULO 1

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE EM UM LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico DOS TABULEIROS COSTEIROS, SOB FLORESTA NATURAL ¹

¹Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico: Revista Brasileira de Ciência do Solo

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE EM UM LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico DOS TABULEIROS COSTEIROS, SOB FLORESTA NATURAL

RESUMO: O solo é um recurso natural fundamental para a vida. Sua capacidade para funcionar como substrato para vegetais, filtro ambiental, regulador de fluxo de gases, água e energia é definida como qualidade do solo, cuja quantificação, dar-se via estabelecimento de um índice numérico que permite monitorar os efeitos do uso agrícola nos atributos do solo. O objetivo do presente trabalho foi determinar o índice de qualidade do solo (IQS) em um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico (LAX) dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. A área estudada localiza-se em uma reserva municipal de Mata Atlântica situada no município de Cruz das Almas, BA. As amostras foram coletadas em um “grid” de 18 x 8 m, com espaçamentos regular de 2 m, resultando em 50 repetições. Para a determinação do IQS foram avaliados 11 (onze) indicadores de qualidade: macroporosidade, densidade do solo, condutividade hidráulica saturada, retenção de água a 33 kPa (U_{v33}/PT) e relação de disponibilidade de água no solo (AD/PT), pH, resistência 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 (CRP) 2) condução e armazenamento de água (CAA) e 3) suprimento de nutrientes (SN). O valor do IQS foi de 0,4620, indicando que o solo possui baixa qualidade para produção vegetal e seu uso em sistemas agrícolas sustentáveis exige melhorias nos indicadores de qualidade para o suprimento de nutrientes, condução e armazenamento de água.

Palavras-chaves: Qualidade do solo, solo coeso, manejo sustentável

DETERMINATION THE SOIL QUALITY INDEX IN A COHESIVE ARGISOLIC YELLOW LATOSOL - LAX OVER THE TABLELAND SOIL, UNDER A NATURAL FOREST.

SUMMARY: The soil is an essential natural resource for the life. Its capacity to function as substratum for vegetables, environmental filter, gases, water and energy flow regulator is defined as soil quality, whose quantification, would establish a numeric index that allows to monitor the effects of the agricultural use in the attributes of the soil. The objective of the present work was to determine the Soil Quality Index (SQI) in a cohesive argisolic Yellow Latosol-LAx over the Tableland Soil under a natural forest environment. The area of study was located at the natural reserve of the Atlantic Forest in the city of Cruz das Almas – Bahia. The samples were collected in a grid of 18 x 8 m, with a regular distance of 2 m resulting in 50 repetitions. For determination of were evaluated 11 (eleven) quality indicators: macroporosity, soil density, hydraulic conductivity saturated, water retention at 33kPa (Uv_{33}/ TP), relationship of water availability in the soil (WA/TP), pH, penetration resistance, capacity of cations change (CTC), basis saturation value (V%), aluminum saturation value (m%) and organic matter. These indicators were divided by three main functions: 1) Root growth in depth. 2) Conduction and water storage and 3) nutrients supply. The SQI value was 0,4620 indicating of soil a lower quality to vegetal production and its use in agricultural systems require improvement in the quality index to the nutrient supply, conduction and water storage.

Key word: Soil quality, cohesive soil, sustainable management

INTRODUÇÃO

O solo é um dos elementos fundamentais da biosfera do planeta Terra, essencial para o bem-estar humano, para a produtividade na agricultura e para os ecossistemas naturais. É a base para a vida e sustentação da maioria dos seres vivos, animais e vegetais, incluindo o próprio homem. Possui múltiplas funções no ambiente, como substrato para a produção agrícola, regulador dos fluxos de água, gases e energia, filtro e tampão para materiais descartados e, por fim, meio para obras de engenharia (Singer & Ewing, 2000; Doran & Parkin, 1994; Larson & Pierce, 1994). Sua capacidade para funcionar adequadamente no desempenho dessas funções é referida como “qualidade do solo” (Karlen et al., 1997). É um conceito antigo, porém ainda muito discutido e não aceito universalmente, devido à sua natureza dinâmica e complexa. Não obstante, é fundamental para quantificar os efeitos das ações antrópicas no ambiente, notadamente aqueles relacionados com a sustentabilidade das práticas agrícolas (Sojka & Upchurch, 1999; Wander & Drinkwater, 2000; Andrews et al., 2003).

Assim como o ar e a água, a qualidade do solo está diretamente relacionada com a “saúde” e produtividade dos ecossistemas terrestres. No entanto, para solos, possivelmente devido às influências de fatores relativos à sua gênese, variabilidade, uso, manejo e dadas as diversas funções que pode desempenhar, tem sido difícil para os pesquisadores estabelecer critérios universais para definição e quantificação da qualidade (Glover et al., 2000). Talvez por esta razão vários conceitos tenham sido propostos. Todos têm em comum a capacidade do solo em funcionar efetivamente no presente e no futuro, sendo o mais amplo aquele da Sociedade Americana de Ciência do Solo, que define qualidade do solo como “a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites de ecossistemas naturais ou manejados, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água, promovendo a saúde humana e a habitação” (Doran & Parkin, 1994; Karlen et al., 1997; Singer & Ewing, 2000).

Outra dificuldade para a quantificação da qualidade do solo está relacionada ao método para transformar a natureza complexa e específica de cada solo em atributos mensuráveis, que possam refletir o seu “estado” para funcionar,

possibilitando avaliações sistemáticas independentes de seus múltiplos usos (Sojka & Upchurch, 1999; Wander & Drinkwater, 2000; Silva, 2004). Uma das propostas mais objetivas sugere definir explicitamente as funções que determinam a qualidade do solo, identificar os atributos de cada função e, então, selecionar um conjunto mínimo de indicadores para medir cada função (Doran & Parkin, 1994; Karlen & Stott, 1994; Larson & Pierce, 1994; Nortcliff, 2002). Dependendo da função para a qual uma avaliação está sendo feita, uma lista quase infinita de parâmetros ou indicadores pode ser utilizada (Lal, 1999). Por isto, para avaliação de determinadas funções é preciso selecionar atributos, propriedades ou processos que, de alguma maneira, (i) influenciem a função para a qual está sendo avaliado, (ii) sejam mensuráveis e comparados a padrões definidos e (iii) sejam sensíveis o bastante para mostrar diferenças em escala espacial ou temporal (Karlen et al., 1997). Em suma, os indicadores de qualidade do solo devem ser sensíveis o bastante para refletir os efeitos das práticas de manejo, porém não devem ser afetados a curto prazo (Doran et al., 1996).

Karlen et al. (1997) apresentam duas concepções para organizar o processo de avaliação da qualidade do solo. A primeira enfatiza que a qualidade é uma característica inerente a cada solo, sendo governada por seus processos de formação. Partindo deste princípio, cada solo possui uma habilidade natural para funcionar, definida por um conjunto de fatores que refletem o máximo potencial de um solo para realizar uma função específica. A segunda concepção assume que, se um solo está funcionando de acordo como 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.

A correta avaliação da qualidade exige métodos sistemáticos para medir e interpretar as contribuições das propriedades e atributos do solo que podem ser utilizados como indicadores de qualidade. Existem diversas proposições de metodologias e modelos para avaliação do índice de qualidade do solo. Todos são conceitualmente similares e derivam daqueles propostos para determinação dos índices de produtividade (Cher, 2001). Dentre as metodologias mais utilizadas, destaca-se aquela proposta por Karlen & Stott (1994). Esses autores sugerem um modelo aditivo, baseado nos conceitos para sistemas de engenharia, desenvolvidos por Wymore, em 1993, para suporte à decisão nas investigações de problemas

ambientais. Apresentam uma estrutura de cálculo em que são estabelecidas as funções principais e seus respectivos indicadores de qualidade, com pesos para ponderação pré-definidos. A aplicação do mecanismo desenvolvido por Wymore combina diferentes funções e indicadores para determinar o índice de qualidade do solo (IQS). Os resultados variam na escala de 0 – 1. Quando o resultado do IQS é 1 o solo apresenta alta qualidade para a função avaliada. Ao contrário, quando o IQS é zero ou um valor próximo, indica limitações ou baixa qualidade do solo. Karlen & Stott (1994) concluíram que o procedimento pode ser aplicado para avaliar a qualidade do solo para diversas situações, o que foi confirmado por vários autores.

Hussain et al. (1999) adaptaram o IQS para avaliar o efeito de três sistemas de manejo, plantio direto, arado de disco e arado de aiveca, na qualidade do solo quando cultivado com milho e soja. Concluíram que o IQS pode ser modificado para aumentar a sensibilidade em relação às condições de uso e manejo e, que é uma boa ferramenta para identificar problemas de manejo relativos à sustentabilidade do uso do solo. Glover et al. (2000), admitindo a necessidade de desenvolvimento de uma metodologia universal para monitorar o IQS, modificaram e também aplicaram a metodologia de Karlen & Stott (1994) para avaliar os efeitos de diferentes sistemas de produção de maçã no IQS. Registraram, em suas conclusões, que se trata de uma ferramenta eficiente e fácil de ser usada, cujos parâmetros são flexíveis o suficiente para possibilitar a sua aplicação para diferentes regiões, sistemas de cultivo e objetivos de avaliação.

No Brasil, dois trabalhos recentes, Cher (2001) e Souza et al (2003), aplicaram criteriosamente o método de Karlen & Stott (1994). Cher (2001) modificou o IQS para avaliar o efeito de diferentes manejos na cultura do eucalipto sobre a qualidade do solo. Verificou que se trata de uma ferramenta efetiva para verificar mudanças no solo decorrentes dos sistemas de manejo e seus efeitos na qualidade do mesmo, para a produção vegetal em floresta cultivada, podendo-se afirmar que os índices mais elevados realmente correspondem aos solos com melhor qualidade.

Souza et al. (2003) aplicaram o IQS para um estudo de caso com enfoque para a produção de citros em solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. Concluíram que a metodologia é prática e adequada para estimar o índice de qualidade do solo, na medida em que permite identificar as funções principais e os indicadores limitantes, possibilitando orientar as intervenções para melhorá-los.

Para identificar o máximo potencial de funcionamento de um tipo de solo é preciso estabelecer um referencial, o qual se relaciona ao solo em estado natural, nas condições em que foi formado, sem alterações (Schoenholtz et al., 2000). Teoricamente, nestas condições o solo expressaria o seu maior potencial pedogenético e, conseqüentemente, sua máxima qualidade, pois, quando ocorre a modificação de sistemas naturais para agrícolas, muitos atributos do solo são alterados e sua qualidade é modificada (Doran & Parkin, 1994; Dias, 2002; Cogo et al., 2003; Melo Filho et al., 2004). Contudo, as áreas de florestas e vegetação natural têm sido reduzidas em todo o Mundo (Lal, 1993), e muito intensamente nos Tabuleiros Costeiros do Brasil, restringindo significativamente as possibilidades de se estabelecer referenciais de qualidade do solo, razão pela qual urge aproveitar as oportunidades que ainda existem para avaliações deste tipo.

Os Tabuleiros Costeiros são formações terciárias, com características geopedoclimáticas bem definidas, que se estendem pela região costeira brasileira, do Amapá ao Rio de Janeiro, caracterizados por uma planície de 30 a 200 metros de altitude, limitada por morros do cristalino na parte ocidental e pela baixada litorânea na parte oriental (Jacomine, 1996; Rezende, 2000). Neste ecossistema as áreas de floresta natural representam cerca de 1.633.508 ha, correspondente a 18,6% de sua área total (Souza et al., 2002). Os solos predominantes das áreas de Tabuleiros Costeiros são os LATOSSOLOS AMARELOS e os ARGISSOLOS AMARELOS, que representam cerca de 67,5% e 25% respectivamente, de todos os solos presentes neste ecossistema (Jacomine, 1996). Estes solos possuem um impedimento físico, mesmo sob condição natural, denominado de horizonte coeso. Em geral, os horizontes coesos apresentam consistência muito dura quando seco, o que dificulta a penetração de raízes e o armazenamento e distribuição de água ao longo do perfil (Souza, 1996; Jacomine, 1996; Ribeiro, 1998; Rezende, 2000). A presença dos horizontes coesos, associada às limitações químicas, elevada acidez e à presença de alumínio trocável em altas percentagens, indicam que estes solos podem apresentar, sob condição natural, um baixo índice de qualidade para o crescimento das plantas e produção vegetal.

O presente estudo teve como objetivo determinar o índice de qualidade do solo (IQS) para um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico (LAX) dos Tabuleiros Costeiros sob floresta natural.

MATERIAL E MÉTODOS

Local e amostragem

A área estudada está localizada em uma reserva municipal de Mata Atlântica, floresta estacional semidecidual (Brazão & Araújo, 1981), situada no Município de Cruz das Almas, Bahia, cujas coordenadas geográficas são 39° 06' de latitude Sul e 12° 40' de longitude Oeste (Figura 1), com altitude média de 220 m. O clima local, segundo a classificação de Thornthwaite é caracterizado como subúmido com tendência para o semi-árido. A precipitação média anual é de 1.206 mm, com variações entre 1.000 a 1.300 mm/ano, a temperatura média anual é de 24,2 °C, sendo os meses de janeiro e fevereiro os mais quentes (Ribeiro, 1998). O relevo da área é plano e o solo foi classificado como LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico (LAX) (Melo Filho & Araújo Filho, 1984; Embrapa, 1999).

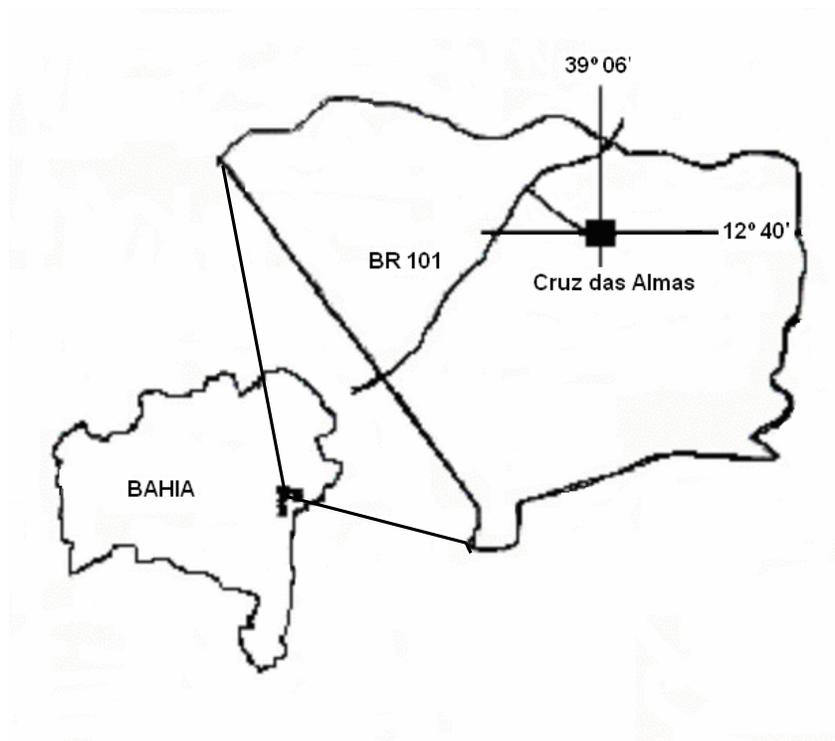


Figura 1. Localização da reserva municipal de Mata Atlântica onde o estudo foi realizado, Município de Cruz das Almas (BA).

Amostragem do solo e análises

As amostras foram coletadas nos pontos de cruzamento de uma malha de 18 x 8 m, com espaçamento regular de 2 metros, resultando em 50 pontos de amostragem para uma área total de 144 m² (Figura 2).

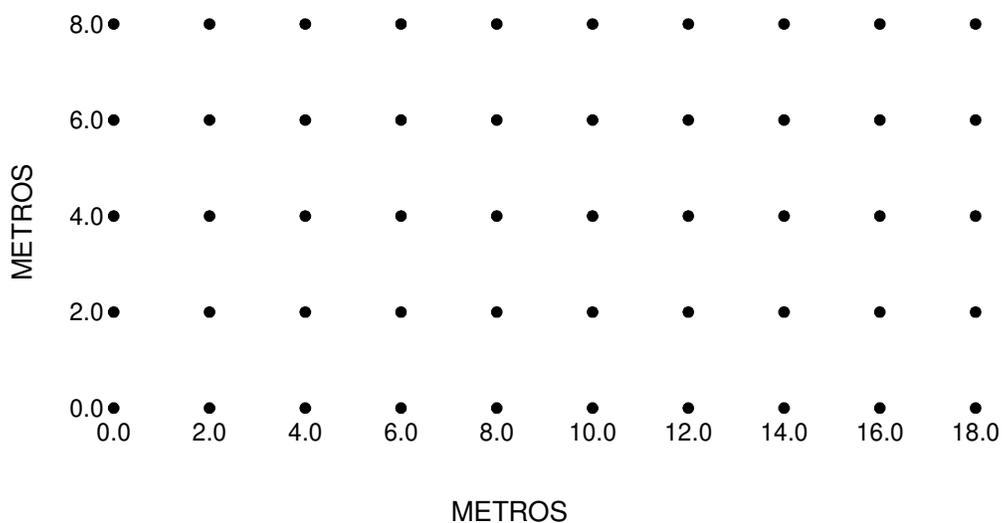


Figura 2. Distribuição espacial dos pontos de amostragem para avaliação do índice de qualidade do solo.

Em cada ponto foram coletadas amostras indeformadas e deformadas. As amostras deformadas foram coletadas com trado tipo sonda e as indeformadas com trado tipo Uhland (Bravifer), em duas profundidades diferentes, tendo como referência o horizonte coeso, ou seja, uma amostra no interior do coeso e outra 0,2 m acima deste (Figura 3). Em média, as amostras foram retiradas nas profundidades de 0,4 - 0,5 m e 0,6 - 0,7 m.

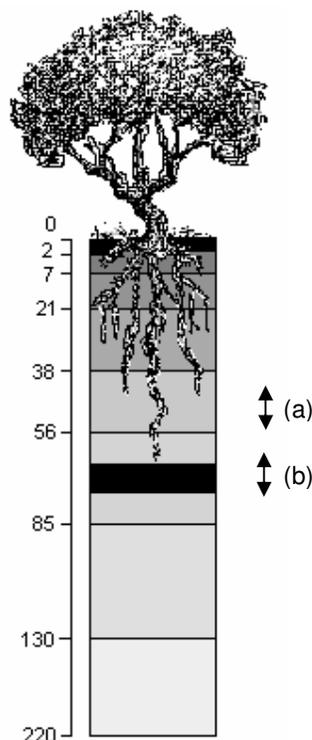


Figura 3. Perfil esquemático do LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico, sob floresta natural com as profundidades amostradas (a) 0,4 – 0,5 m e (b) 0,6 – 0,7 m, dentro do coeso.

Para determinação do índice de qualidade do solo foram avaliados 11 (onze) indicadores de qualidade: macroporosidade, densidade do solo, condutividade hidráulica no solo saturado, relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total (Uv_{33}/PT) e relação de água disponível/porosidade total (AD/PT), pH, resistência à penetração (RP), capacidade de troca catiônica (CTC), percentagem saturação por bases (V%), percentagem de saturação por alumínio (m%) e matéria orgânica (MO). Utilizaram-se os seguintes 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 Raij & Quaggio (1983). Para a resistência à penetração utilizou-se o penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf, seguindo metodologia proposta por Stolf et al. (1983). Os

dados experimentais de resistência à penetração foram obtidos em Kgf cm^{-2} e depois multiplicados pela constante 0,098 para transformação em MPa (Beutler et al., 2001). Objetivando padronizar as medidas de resistência a penetração para uma mesma umidade, neste caso retida na tensão de 100 kPa, medidas de resistência à penetração e umidade foram coletadas durante 8 meses, abrangendo desde a época mais úmida até a mais seca, de maneira a obterem-se medidas para diversas umidades no solo. Os pares de dados foram plotados em um gráfico de RP x Ug (umidade gravimétrica) e equações de regressão (Busscher et al., 1997) foram ajustadas, sendo possível obter-se o valor da RP para 100 kPa.

Índice de qualidade do solo (IQS)

Neste estudo o modelo de avaliação do índice de qualidade do solo foi o proposto por Karlen & Stott (1994). O sistema proposto é aditivo e usa uma série de funções principais do solo, às quais são atribuídos pesos e são integradas conforme a seguinte expressão:

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

onde *IQS* é o índice de qualidade do solo, *qWi* é o valor calculado para as funções principais que compõem o índice e *wt* é um peso numérico atribuído para cada função na composição do índice geral de qualidade. As funções principais são escolhidas de acordo com o objetivo da avaliação e devem ser acompanhadas de indicadores físicos, químicos e biológicos, relacionados diretamente com sua medida. Os pesos numéricos são atribuídos às funções de acordo com o grau de importância da mesma para o funcionamento do solo, no desempenho da função para a qual o índice está sendo calculado. Podem ser usados critérios socioeconômicos, necessidades de cultivo, necessidades dos agricultores e preocupações ambientais. O somatório dos pesos de todas as funções principais deve resultar 1,0 (um). Esse é o valor do IQS para um solo ideal em relação ao objetivo considerado. Quando o solo apresenta limitações e não tem qualidade o valor é zero, sendo este o menor valor possível. Após atribuir os pesos relativos para as funções, devem ser identificados e priorizados os indicadores que influenciam cada uma, em diversos graus. Indicadores de nível 1,0 (um) são mais diretamente

relacionados com a função e quanto maior o nível do indicador maior sua associação com a função. Assim como para as funções principais, pesos numéricos devem ser atribuídos para os indicadores. Da mesma forma, o somatório geral dos pesos dos indicadores em cada nível deve ser 1,0 (um).

Depois de 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. Foi desenvolvida para sistemas de engenharia por Wymore em 1993 (Glover et al., 2000). A função é a seguinte:

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

onde v é a pontuação padronizada; B é o valor crítico ou limite base do indicador, cujo escore padronizado é 0,5, e que geralmente estabelece o limite entre uma boa ou ruim qualidade do solo; L é o valor inicial ou mais baixo que uma propriedade do solo possa expressar, podendo receber o valor de 0; S é a inclinação da tangente à curva no ponto correspondente ao valor crítico do indicador e x é o valor da propriedade ou indicador medido no campo.

Para aplicar a equação de Wymore, primeiro é preciso calcular a inclinação da tangente da curva de pontuação no valor crítico do indicador. Expressando S na equação 2, tem-se:

$$S = \frac{\log\left(\frac{I}{v}\right) - 1}{\log\left(\frac{B-L}{x-L}\right) \cdot 2(B+x-2L)} \quad [3]$$

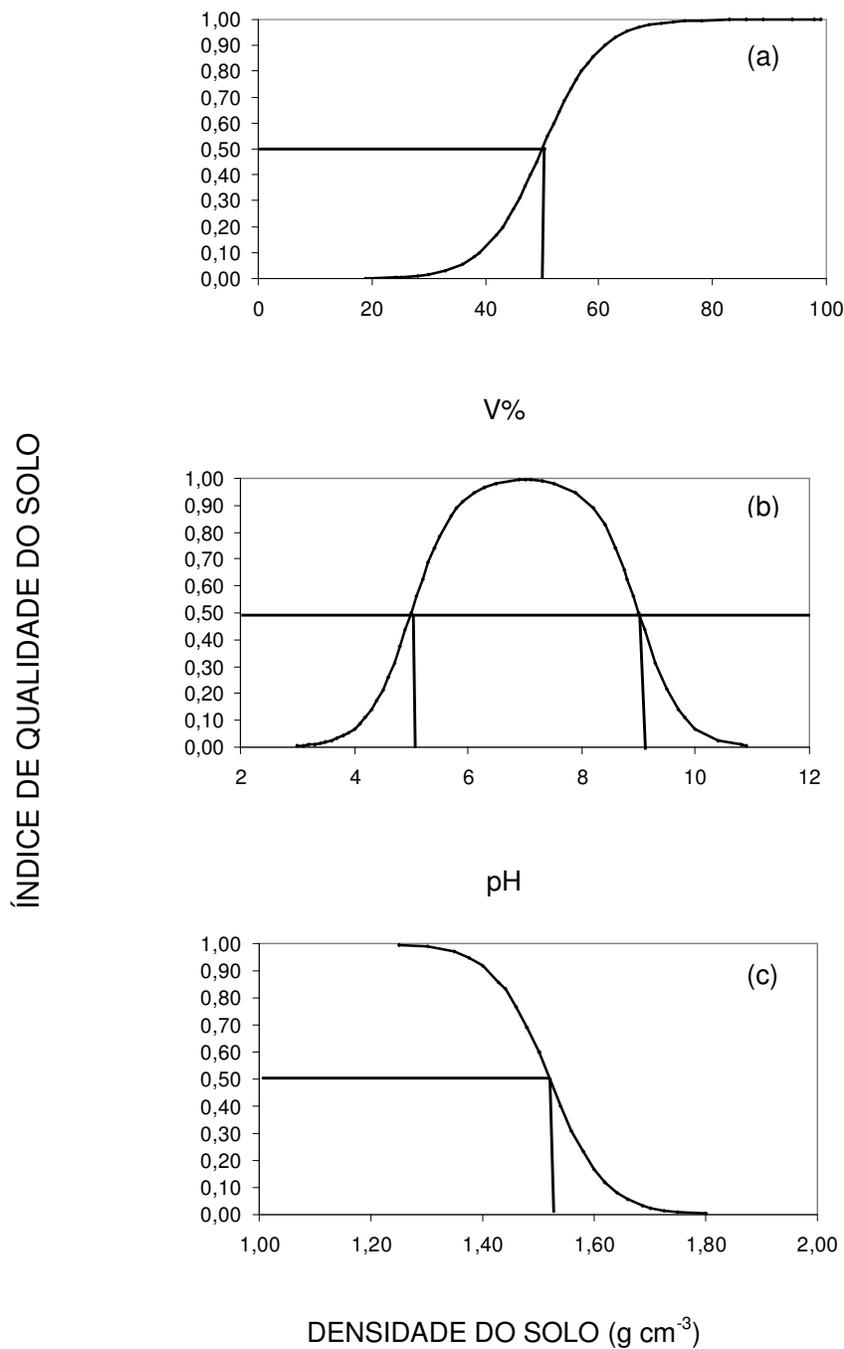


Figura 4. Funções de pontuação padronizada (a) “Mais é Melhor”, (b) “Ótima” e (c) “Menos é Melhor”. Fonte: Karlen e Stott (1994).

Usando-se as curvas de padronização de escores geram-se três funções típicas de padronização (Figura 4). (1) “Mais é melhor”, (2) “Valor ótimo” e, (3) “Menos é melhor”.

Para a padronização dos atributos 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. Os valores críticos são aqueles nos quais a função de pontuação é igual a 0,5 e equivale aos pontos médios entre os valores limites do indicador de qualidade avaliado. Tanto as curvas de padronização quanto os valores limites, superior, inferior e crítico devem ser criteriosamente estabelecidos. Devem-se utilizar informações de pesquisadores notoriamente conhecedores do assunto, bancos de dados específicos devidamente documentados e valores obtidos para condições ideais e semelhantes de solo e cultivo (Karlen & Stott, 1994; Glover et al., 2000).

A curva de padronização do tipo “mais é melhor” possui declividade (S) positiva e são utilizadas 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, estabilidade de agregados e teor de carbono orgânico (Figura 4a); “valor ótimo” possuem inclinação positiva até o valor ótimo e são utilizadas para indicadores que apresentam um efeito positivo na qualidade do solo até determinado valor, a partir do qual sua influência é detrimental ou negativa, a exemplo da porosidade total, potencial de hidrogênio, condutividade hidráulica em solo saturado e condutividade elétrica (Figura 4b). As curvas de padronização do tipo “menos é melhor” possui declividade negativa e padronizam indicadores como a densidade do solo, a resistência à penetração e saturação por alumínio, em que a qualidade está associada a menores valores dos mesmos (Figura 4c). A inclinação (S) da curva de padronização de escore no valor crítico é determinada utilizando-se planilhas eletrônicas em programas de computador.

Critérios utilizados para avaliar o índice de qualidade do solo (IQS)

O critério fundamental deste estudo foi utilizar os mesmos parâmetros estabelecidos por Souza et al. (2003). Os autores reuniram um excelente conjunto de argumentos e critérios para avaliação do IQS para duas classes de solos coesos cultivados com citros, não havendo razão para outra proposição diferente. Com isto

esperam-se facilitar as comparações e entendimentos referentes à aplicação da metodologia de Karlen & Stott (1994). Assim, foram definidas três funções principais, seus respectivos indicadores de qualidade e ponderadores. As funções principais foram: crescimento radicular em profundidade (CRP); condução e armazenamento de Água (CAA) e suprimento de nutrientes (SN). Os valores utilizados para determinação do IQS estão sumarizados no Quadro 1.

O cálculo do IQS foi feito da seguinte forma:

$$q(FP) = I_1 \times W_1 + \dots + I_n \times W_n \quad [5]$$

onde $q(FP)$ é a contribuição parcial de cada função principal para o valor global do IQS, I_n representa os valores dos diferentes indicadores da função principal avaliada e W_n são os pesos relativos atribuídos a cada indicador. Os pesos representam a importância de cada indicador na composição do índice de qualidade do solo em um determinado ambiente.

Na segunda etapa multiplicaram-se os valores encontrados em cada função principal pelo seu respectivo ponderador e efetuou-se a soma dos resultados, determinando assim, o índice de qualidade do solo (IQS).

$$IQS = (qCRP \times wCRP) + (qCAA \times wCAA) + (qSN \times wSN) \quad [6]$$

onde $qCRP$ é o valor ponderado da função principal crescimento do sistema radicular em profundidade, $qCAA$ é a função capacidade de condução e armazenamento de água e qSN é a função suprimento de nutrientes, w são os ponderadores associados a cada função principal.

No Quadro 2 encontram-se todos os indicadores químicos e físicos utilizados para a determinação do Índice de Qualidade do Solo (IQS) e suas respectivas funções.

Quadro 1. Funções principais e indicadores físicos e químicos utilizados para avaliação da qualidade de um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico sob mata natural no ambiente dos Tabuleiros Costeiros. Cruz das Almas, Bahia, Brasil

Funções principais	Ponderadores das funções	Indicadores de qualidade (*)	Unidade dos Indicadores	Ponderadores dos indicadores	Limites críticos		Referências dos limites críticos
					Inferior	Superior	
Crescimento radicular em profundidade (CRP)	0,40	RP _{100kPa}	MPa	0,40	0,53		Taylor et al. (1966)
		Mp	m ³ m ⁻³	0,30	0,10	0,30	Carter (2002)
		Ds	kg dm ⁻³	0,10	1,0		Santana (2003)
		m	%	0,20	50		Lepsch (1983)
Condução e armazenamento de água (CAA)	0,40	K ₀	cm h ⁻¹	0,20	2,0	20	Lepsch (1983)
		Mp	m ³ m ⁻³	0,20	0,10	0,30	Carter (2002)
		Uv _{33kPa} /PT	-	0,30	0,55		Souza et al. (2003)
		AD/PT	-	0,30	0,125		Souza et al. (2003)
Suprimento de nutriente (SN)	0,20	pH em água	-	0,10	5,0	9,0	C. E. F. Solo (1989)
		CTC _{pot}	cmol _c dm ⁻³	0,40	4,0		Lepsch (1983)
		V	%	0,20	50		Lepsch (1983)
		M. O.	g kg ⁻¹	0,30	15		C. E. F. Solo (1989)

(*) RP_{100kPa} = resistência à penetração a 100kPa de umidade no solo; Mp = macroporosidade do solo; Ds = densidade do solo; m = saturação por alumínio; K₀ = condutividade hidráulica do solo saturado; Uv_{33kPa}/PT = relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total; AD/PT = relação água disponível (umidade volumétrica a 1500 kPa – umidade volumétrica a 33 kPa)/porosidade total; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por base; e M. O. = matéria orgânica. C.E.F. Solo = Comissão Estadual de Fertilidade do Solo (1989). Fonte: Modificado de Souza et. al. (2003).

Quadro 2. Funções principais, seus indicadores e tipo de padronização das curvas para avaliação da qualidade de um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico sob mata natural no ambiente dos Tabuleiros Costeiros. Cruz das Almas, Bahia, Brasil

Funções principais	Indicadores qualidade	Curva de padronização	Valores iniciais	Valores ótimos	Declividade da curva
CRP	RP _{100 kPa}	MEM	0,53		-0,7694
	Mp	OT	0,0	0,20	16,6834
	Ds	MEM	1,0		-5,0050
	m	MEM	0,0		-0,0501
CAA	K ₀	OT	0,0	15,0	0,2002
	Mp	OT	0,0	0,20	16,6834
	Uv _{33kPa} /PT	MAM	0,0		5,0050
	AD/PT	MAM	0,0		50,050
SN	pH	OT	0,0	7,0	0,6501
	CTC _{pot}	MAM	0,0		0,3337
	V	MAM	0,0		0,0501
	MO	MAM	0,0		0,1667

CRP = crescimento radicular em profundidade, CAA = condução e armazenamento de água, SN = suprimento de nutrientes. RP_{100kPa} = resistência à penetração a 100kPa de umidade no solo, expressa em MPa; Mp = macroporosidade do solo, em m³ m⁻³; Ds = densidade do solo, em kg dm⁻³; m = saturação por alumínio, em %; K₀ = condutividade hidráulica do solo saturado, em cm h⁻¹; Uv_{33kPa}/PT = relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total; AD/PT = relação água disponível (umidade volumétrica a 1500 kPa – umidade volumétrica a 33 kPa)/porosidade total; CTC = capacidade de troca catiônica, em cmol_c dm⁻³; V = saturação por base, em %; e M. O. = matéria orgânica, em g kg⁻¹. CRP = crescimento radicular em profundidade; CAA = capacidade de armazenamento de água; SN = suprimento de nutrientes; MEM = menos é melhor; OT = valor ótimo; e MAM = mais é melhor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico (Lax) apresenta, nas condições desta avaliação, acidez elevada e extrema pobreza de nutrientes (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1989). Apesar de localizado sob mata natural, onde o aporte de biomassa vegetal é muito grande, possui baixo teor de matéria orgânica associada à fração mineral do solo, possui textura média e a CTC potencial é média (Lopes & Guidolin, 1989), indicando que, sob condições naturais ácidas, apresenta elevado potencial de perdas de nutrientes por lixiviação. A soma das bases indica que a oferta de nutrientes para as plantas é limitada, assim como a proporção entre eles está completamente desbalanceada (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1989). Trata-se de um solo que oferece sérias limitações ao crescimento das plantas (Quadro 3).

Quadro 3. Características químicas e físicas do LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico, sob floresta natural. Cruz das Almas – Bahia, Brasil

Prof	pH	Ca	Mg	K	Al	H	S	T	V	m	M O	Areia	Silte	Arg
		----- cmol _c / dm ³ -----					----- % -----			----- g kg ⁻¹ -----				
0,4-0,5	4,48	0,76	0,47	0,08	1,02	3,39	1,31	5,75	22,8	43,8	6,9	666,8	63,5	269,6
0,6-0,7	4,43	0,90	0,50	0,08	0,97	3,55	1,48	6,05	24,5	39,6	7,9	621,3	76,5	302,2

A baixa fertilidade química e as limitações físicas são refletidas no índice de qualidade do solo (IQS) determinado para o Lax, cujos valores para as funções principais e indicadores estão sumarizados no Quadro 4. O valor do IQS foi de 0,4620, o que segundo Karlen & Stott (1994), confere a este solo baixa qualidade para a produção vegetal, confirmando as observações de Souza (1996), Borges & Kiehl (1997), Portela (2000), Matias (2003) e Melo Filho et al. (2004). Na composição geral do IQS as funções tiveram as seguintes participações: crescimento radicular em profundidade (CRP), aproximadamente 64%, condução e armazenamento de água (CAA), aproximadamente 19%, e suprimento de nutrientes (SN), 17% (Figura 5).

Quadro 4. Índice de qualidade para um LATOSSOLO AMARELO Coeso argiloso sob floresta natural. Cruz das Almas, Bahia, Brasil

Funções Principais	Ponderadores (A)	Indicadores Qualidade (*)	Ponderadores (B)	Valores médios observados	Escores Padronizados (C)	(B) X (C)		Soma (B) X (C) = (D)	(A) X (D)		Índice de qualidade
						Absoluto	(%)		Absoluto	(%)	
CRP	0,40	RP _{100 kPa}	0,40	0,786	0,99	0,396	53,44	0,741	0,2966	64,19	
		Mp	0,30	0,104	0,566	0,170	22,91				
		Ds	0,10	1,687	0,0334	0,003	0,45				
		m	0,20	40,966	0,860	0,172	23,20				
CAA	0,40	K ₀	0,20	19,97	0,506	0,101	46,66	0,217	0,0868	18,78	0,4620
		Mp	0,20	0,104	0,566	0,113	52,22				
		UV _{33kPa} /PT	0,30	0,315	0,0080	0,002	1,10				
		AD/PT	0,30	0,082	0,0002	0,00005	0,02				
SN	0,20	pH	0,10	4,456	0,1953	0,020	4,96	0,394	0,0787	17,03	
		CTC _{pot}	0,40	5,900	0,9288	0,372	94,41				
		V	0,20	24,266	0,0046	0,001	0,23				
		MO	0,30	7,404	0,0051	0,002	0,39				

CRP = crescimento radicular em profundidade, CAA = condução e armazenamento de água, SN = suprimento de nutrientes. (*)RP_{100kPa} = resistência à penetração a 100kPa de umidade no solo, expressa em MPa; Mp = macroporosidade do solo, em m³ m⁻³; Ds = densidade do solo, em kg dm⁻³; m = saturação por alumínio, em %; K₀ = condutividade hidráulica do solo saturado, em cm h⁻¹; UV_{33kPa}/PT = relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total; AD/PT = relação água disponível (umidade volumétrica a 1500 kPa – umidade volumétrica a 33 kPa)/porosidade total; CTC = capacidade de troca catiônica, em cmol_c dm⁻³; V = saturação por base, em %; e M. O. = matéria orgânica, em g kg⁻¹. C.E.F. Solo = Comissão Estadual de Fertilidade do Solo (1989).

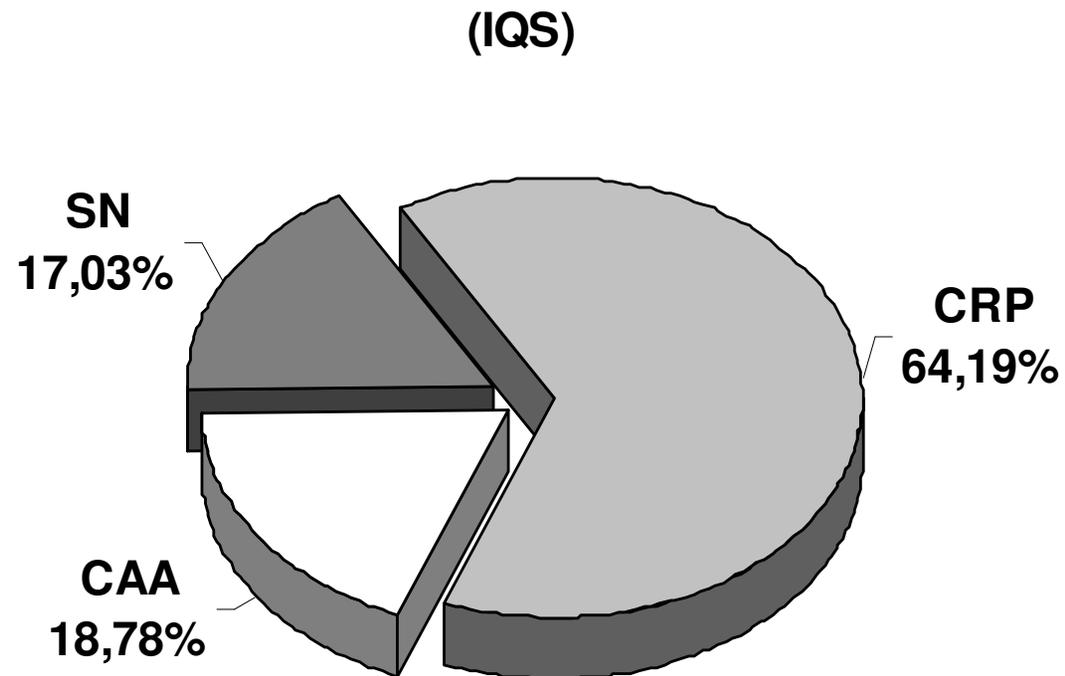


Figura 5. Participação relativa das funções principais, crescimento radicular em profundidade (CRP), suprimento de nutriente (SN) e condução e armazenamento de água (CAA) na composição do índice de qualidade (IQS) do LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico (LAX) sob floresta natural – Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

A função crescimento radicular em profundidade foi a que efetivamente contribuiu na composição do IQS do LAx. Nesta função os indicadores que influenciaram a melhoria da qualidade foram: RP_{100kPa} (0,7863 MPa), saturação por alumínio (41%) e macroporosidade ($0,104 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), que representaram 53,4%, 23,2% e 22,9%, respectivamente, do valor total do IQS para a mesma (Figura 6a). A resistência à penetração e a saturação por alumínio são dois indicadores com funções do tipo “menos é melhor” e, como seus valores medidos ficaram abaixo dos limites críticos estabelecidos, realmente contribuíram para melhorar o IQS. Porém, a resistência à penetração só melhorou o IQS por ter sido estimada para a umidade de 100 kPa, tendo em vista que, no campo, várias medidas deste indicador ficaram acima do limite crítico de 2,0 MPa, como ocorreu na profundidade de 0,6 – 0,7 m, correspondente à camada coesa do solo. Neste caso, se a avaliação tivesse sido realizada com base na medida real da resistência à penetração, certamente sua contribuição para o IQS da função teria sido menor. Isto também indica que a padronização da resistência à penetração para a umidade retida a 100 kPa pode não ser a melhor forma de expressar este importante indicador da qualidade do solo. Outro indicador da função CRP que obteve valor próximo ao limite crítico foi a macroporosidade, contudo, não suficiente para restringir as trocas gasosas, nem a permeabilidade da água (Erickson, 1982), o que possibilitou a significativa contribuição relativa, 23%, deste indicador para a função. A densidade do solo praticamente não contribuiu para a composição do IQS da função CRP. Apresentou valor médio elevado, no entanto esse valor deve ser considerado com ressalva, tendo em vista que o valor da macroporosidade não foi limitante e a granulometria mostrou que o solo apresenta elevados teores de areia em sua composição (Quadro 3).

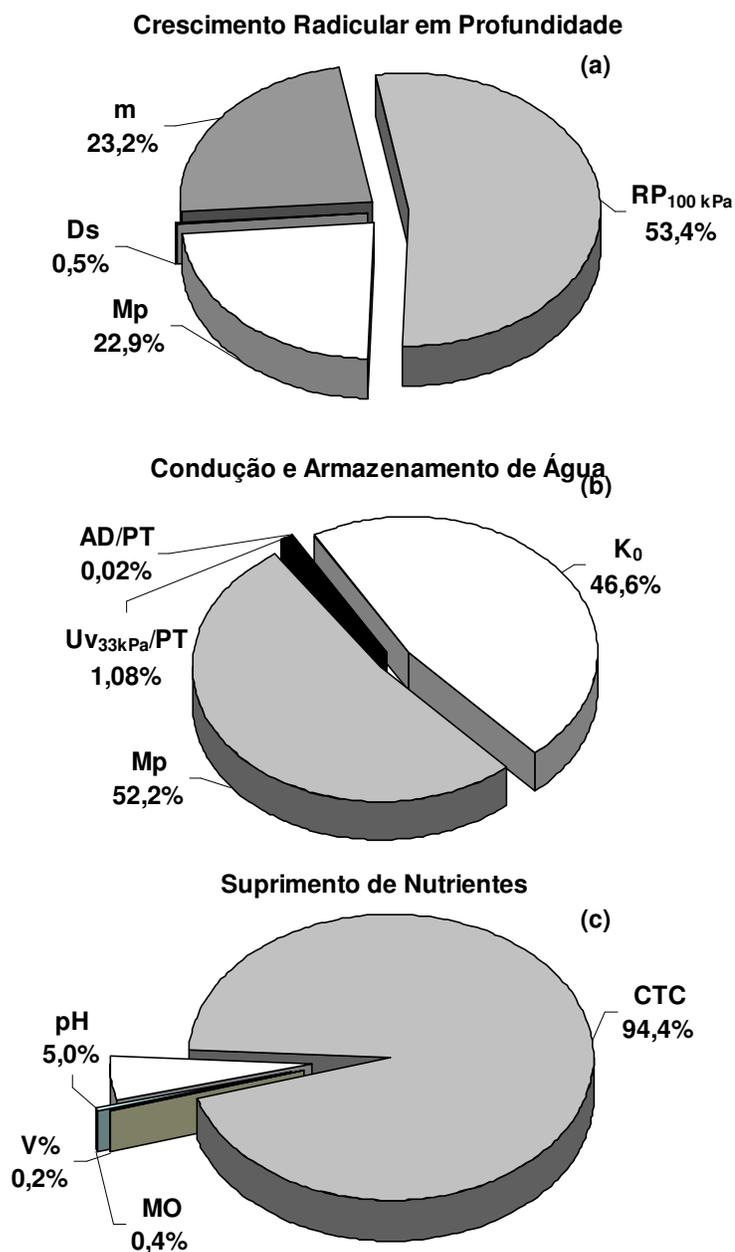


Figura 6. Contribuição relativa dos indicadores: m – saturação por alumínio; Ds – densidade do solo; Mp – macroporosidade; RP – resistência à penetração; AD/PT – relação de água disponível; K₀ – condutividade hidráulica do solo saturado; Uv_{33kPa/PT} – relação umidade volumétrica; pH; V – saturação por bases; CTC – capacidade de troca catiônica; e MO – matéria orgânica para composição do índice de qualidade para as três funções principais de um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico (LAX), sob floresta natural. Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

A função condução e armazenamento de água foi a mais limitante para o IQS do LAx. O valor absoluto calculado foi de 0,0868, representando apenas 18,8% do índice global de qualidade (Quadro 4), quando a mesma deveria ser responsável por 40% do IQS. Nesta função, os indicadores que determinaram a queda do IQS estiveram relacionados com a porosidade total do solo. Foram as relações AD/PT e $U_{V_{33kPa}}/PT$. Contribuíram, respectivamente, apenas com 0,02% e 1,10%, na composição da função, quando cada uma individualmente deveria significar 30% do total. (Figura 6b). A possível explicação para este fato está associada à baixa retenção de água, devido ao elevado percentual de areia e à predominância de argilas caulínicas, que determinaram os baixos valores para as relações citadas. Contudo, os valores encontrados para as relações $U_{V_{33kPa}}/PT$ e AD/PT estão abaixo dos obtidos por Souza et al. (2003) para a mesma classe de solo quando cultivado com citros. A explicação para este comportamento é apresentada por Ribeiro (1996). Segundo o autor, a grande concentração de ácidos fúlvicos, encontrada em solo de mata nos Tabuleiros Costeiros, resultantes da decomposição da matéria orgânica, auxiliam na migração das argilas para o interior do solo, tornando a camada superficial mais arenosa e, conseqüentemente, com menor capacidade para reter água. A macroporosidade e a condutividade hidráulica em solo saturado, ambos com curva de padronização do tipo “ótima”, obtiveram valores superiores aos limites críticos iniciais estabelecidos pela literatura (Lepsch, 1983), o que evitou maior redução do IQS para a função CAA. No entanto deve-se ressaltar que o indicador condutividade hidráulica em solo saturado só contribuiu para melhorar o IQS da função CAA devido ao uso de valor médio entre as duas profundidades escolhidas para este estudo. Quando se analisa separadamente o valor da K_0 verifica-se que este indicador foi melhor na camada coesa que na camada superficial, na medida em que se aproxima dos valores de condutividade hidráulica moderada (Lepsch, 1983). Outra constatação refere-se à estratégia de amostragem para determinação do índice de qualidade do solo, a qual deve ser construída de forma a evitar a influência de características relacionadas ao processo de gênese do solo, para possibilitar a extrapolação dos resultados e comparações mais generalistas.

A função suprimento de nutrientes também foi limitante para o IQS do LAx. Em valores relativos contribuiu aproximadamente como esperado para a composição do IQS. Representou 17% do valor total do índice, muito embora seu

valor absoluto de 0,0788, tenha sido muito baixo (Quadro 3). Nesta função, o principal problema está relacionado com a participação dos indicadores na composição do índice de qualidade. Verifica-se que a saturação por bases, a matéria orgânica e o pH, representaram apenas 0,23%, 0,39% e 4,96%, respectivamente (Figura 6c). Estes indicadores praticamente não participaram da constituição da função, a qual resultou basicamente da contribuição da CTC, com 94,4%, que embora tenha sido baixa foi o único indicador da função SN que apresentou valor médio acima do limite crítico. Contudo, são valores não relacionados a grandes teores de bases, mas a elevada acidez potencial e principalmente a dissociação de íons H^+ , devido ao material de origem e à alta pluviosidade, responsável pela remoção das bases do perfil (Ribeiro, 1998; Matias, 2003). Resultados semelhantes foram encontrados por Borges & Kiehl (1997), Portela (2000) e Matias (2003), quando estudaram o LATOSSOLO AMARELO Coeso sob mata natural. No entanto o baixo valor da saturação por bases parece não ser uma situação exclusiva da condição de uso com mata, tendo em vista que o mesmo comportamento foi verificado em cultivos de manga, banana, citros, mandioca, eucalipto e pastagem (Borges & Kiehl, 1997; Matias, 2003).

A análise conjunta da participação dos indicadores para formação do IQS do LAX indica que a resistência à penetração, saturação por alumínio (m), macroporosidade, K_0 e CTC contribuíram para a melhoria do IQS, enquanto que a densidade do solo, relação Uv_{33kPa}/PT e AD/PT , pH, saturação por bases (V) e a matéria orgânica (MO) foram responsáveis pela redução do índice de qualidade do solo.

Sob o ponto de vista do uso e manejo o valor do IQS global do LAX, de 0,4620, sugere que a produção agrícola sustentável nesta classe de solo nos Tabuleiros Costeiros deve ser realizada necessariamente com a melhoria da capacidade de retenção e armazenamento de água, redução da acidez e aumento da reserva de nutrientes. Quanto à função CRP, não foi encontrado um indicador específico que possa ser manejado para melhoria do índice; no entanto, é possível afirmar que a resistência à penetração, principalmente no período seco, seria um indicador limitante ao crescimento radicular em profundidade.

Em relação ao índice para determinação da qualidade do solo, Doran & Parkin (1994) afirmam que é necessário testar e unificar metodologias, com o intuito

de estabelecer um IQS padronizado capaz de avaliar se a qualidade do solo é boa ou ruim, para um uso específico, e indicar se os sistemas de manejo podem prover a melhoria da mesma. Neste contexto, uma das principais preocupações deve ser direcionada para a profundidade da amostragem. A maioria das amostras para avaliação da qualidade do solo têm sido coletadas nas camadas superficiais, cujas profundidades são estabelecidas em função dos objetivos da avaliação e dos indicadores escolhidos (Karlen et al., 1994; Shoenholtz, 2000; Cher, 2001; Souza et al., 2003). Imagina-se que a profundidade ideal seja aquela correspondente à camada arável (até 0,4 m), onde as influências pedogenéticas de cada solo são reduzidas e tem-se o máximo efeito dos diferentes manejos nos indicadores utilizados para compor os diversos índices de qualidade dos solos para produção vegetal (Karlen et al., 1997; Schoenholtz, 2000; Dias, 2002).

CONCLUSÕES

O valor do IQS para o LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico sob mata natural foi de 0,4620, indicando que o mesmo possui baixa qualidade para produção vegetal e seu uso em sistemas agrícolas sustentáveis exige melhorias nos indicadores de qualidade para as funções suprimento de nutrientes e condução e armazenamento de água.

Uma observação importante em relação ao índice de qualidade do solo proposto por Karlen & Stott (1994) é que a escala de avaliação final limitada a ruim para $\text{IQS} < 0,5$ ou ótima para $\text{IQS} > 0,5$ pode ser subdividida em três níveis, o que melhoraria a informação final. Assim, propõe-se que a gradação para o IQS seja a seguinte: $\text{IQS} \leq 0,500$ ruim; IQS entre 0,510 a 0,700 média; $\text{IQS} \geq 0,710$ ótima.

LITERATURA CITADA

ANDREWS, S. S.; FLORA, C. B.; MITCHELL, J. P.; KARLEN, D. L. Growers' perceptions and acceptance of soil quality indices. *Geoderma*, 114:187– 213, 2003.

- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PERREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. R. Bras. Ci. Solo, 25:167-177, 2001.
- BORGES, A. L.; KIEHL, J. C. Cultivo de fruteiras perenes e de mandioca sobre as propriedades químicas de um LATOSSOLO AMARELO Álico de Cruz das Almas (BA). R. Bras. Ci. Solo, 21:341-345, 1997.
- BRAZÃO, J. F. M.; ARAUJO, A. P. Vegetação. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico. In: RADAMBRASIL. Folha SD 24 – Salvador. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1981. v.24, cap. 4, p 405 – 464.
- BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R.; SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. Soil and Tillage Research, v.43, p.205-217. 1977.
- CARTER, M. R. Quality, critical limits and standardization. In: LAL, R. (ed.). encyclopedia of soil science. New York, Marcel Dekker, 2002. p. 1062 – 1065.
- CHER, G. M. Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para porta enxertos de citros em ecossistemas de Tabuleiros Costeiros. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola. v. 4, n. 1, p. 23-28/, 2000.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R.; VOLK, L. B. Indicadores de qualidade do solo: uma abordagem conceitual e ilustrativa com ênfase nos aspectos de erosão hídrica e de mecanização tratorizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, Ribeirão Preto, 2003. UNESP, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. CD – ROM.
- 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.

- DIAS, L. E. Uso de indicadores de qualidade de solo no monitoramento de processos de recuperação de áreas degradadas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, 27:15-18, 2002, (Boletim informativo).
- DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A. Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Science Society of America., Madison, WI, 1996, p. 40 – 58 (Special Publication, 35).
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bzedicek, D. F.; Stewart, B. A. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Wisconsin, USA, Soil Science Society of America (SSSA), 1994, p. 3 – 21 (Special publication, 35).
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos (EMBRAPA-CNPS), 1997. 212 p.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos (EMBRAPA-CNPS), 1999. 412 p.
- ERICKSON, A. E. Tillage effects on soil aeration. In. PREDICTING TILLAGE EFFECTES ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND PROCESSES, 1982., Madison. Proceedings. American Society of Agronomy, 1982, p. 91-104.
- 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.
- HUSSAIN, I; OLSON, K.R.; WANDER, M.M.; KARLEN, D.L. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southem Illinois. Soil and Tillage Research, v.50, p.237-249, 1999.
- JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificações dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS. Cruz das Almas, 1996. Anais. Cruz das Almas: EAUFBA/GVFBA, EMBRAPA/CNPMF,1996, p. 13-26.
- KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G., HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definintion, and framework for

- evaluation (A guest editorial). *Soil Science Society of American Journal*. 61: 4-10, 1997.
- 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. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, WI, Soil Science Society of America, 1994, p. 53–72 (Special Publication, 35).
- KARLEN, D. L.; WOLLENNHAUPT, D. C.; ERBACH, E. C. BERRY, J. B.; SWAN, N. S.; EASH, E.; JORDAHL, J. L. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. *Soil and Tillage Research*, 31:149-167, 1994.
- KIEHL, E. J. *Manual de edafologia*. São Paulo: Ed. Agronômica “Ceres”, 1979. 262p.
- LAL, R. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. *Soil and Tillage Research*. 27:1-8, 1993.
- LAL, R. Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos. Tradução e adaptação de Cláudia Conti Medugno e José Flávio Dynia. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97p. (Documentos, 03).
- LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bzedicek, D. F.; Stewart, B. A. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, WI, Soil Science Society of America, 1994, p. 37–52, (Special Publication, 35).
- 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. 175 p.
- LIBARDI, P. L. *Dinâmica da água no solo*. 2ª ed. Piracicaba: o autor. 2000, 509 p.
- LOPES, A. S.; GUIDOLIN, J. A. *Interpretação de análise do solo: conceitos e aplicações*. 3ª ed., São Paulo, 1989, 64 p.
- MATIAS, M. I. A. S. *Influência da cobertura vegetal na disponibilidade de nutrientes e na distribuição do sistema radicular em LATOSSOLO AMARELO Coeso de Tabuleiro Costeiro*. 2003. 78 f. Dissertação (Mestrado em Uso, Manejo e Conservação dos Recursos Naturais Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia – UFBA, Cruz das Almas, 2003.

- MELO FILHO, H. F. R.; ARAÚJO FILHO, J. O. Descrição de perfil (1984). In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. 1996, Cruz das Almas. Anais... Cruz das Almas, p.7-10, 1996.
- MELO FILHO, J. F.; DEMATTÊ, J. A. M.; LIBARDI, P. L.; PORTELA, J. C. Comportamento espectral de um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico em função de seu uso e manejo. *Magistra*, 16:105-112, 2004.
- NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88:161–168, 2002.
- PORTELA, J. C. Retenção de água em solos sob diferentes usos no ecossistema Tabuleiros Costeiros. 2000. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2000.
- RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 31 p. (Boletim técnico nº 81).
- REZENDE, J. O. Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo. Salvador: SEAGRI-SPA, 2000. 117 p. (Série estudos agrícolas, n. 1).
- RIBEIRO, L. P. Os LATOSSOLOS AMARELOS do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação. Salvador: Seplantec – CADCT, 1998. 99 p.
- RIBEIRO, L. P. Gênese, evolução e degradação dos solos amarelos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS. Cruz das Almas, 1996. Anais... Cruz das Almas: EAUFBA/GVFBA, EMBRAPA/CNPMPF, 1996, p. 25-37.
- SANTANA, M. B. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de coesão em dois solos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 76 p. (Dissertação de Mestrado).
- SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGE, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 138:335-356, 2000.

- SILVA, A.P. Interação manejo x física. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15, Santa Maria, 2004. UFSM, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2004. CD – ROM.
- SINGER, M.J.; EWING, S. Soil quality. In: SUMMER, M.E. Handbook of soil science. New York, CRC Press, 2000, Section G, p.271-298.
- SOJKA, R. E., UPCHURCH, D. R. Reservations regarding the soil quality concept. Soil Science Society of America Journal, 63:1039– 1054, 1999.
- 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.
- SOUZA, L. S.; BORGES, A. L.; CINTRA, F. L. D.; SOUZA, L. D.; MELLO IVO, W. M. P. Perspectivas de uso dos solos dos Tabuleiros Costeiros. In: ARAÚJO, Q. R. A. (Org.) 500 anos de uso do solo no Brasil. Ilhéus: Editus, 2002. p. 521-580.
- SOUZA, L. S. Uso e manejo dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS. Cruz das Almas, 1996. Anais. Cruz das Almas: EAUFBA/GVFBA, EMBRAPA/CNPMPF, 1996, p. 36-75.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar – Stolf. Revista STAB – açúcar, álcool e subprodutos, Piracicaba, v. 1. n. 3, ed. Jan./fev., 10 p., 1983.
- 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
- WANDER, M. M.; DRINKWATER, L. E. Fostering soil stewardship through soil quality assessment. Applied Soil Ecology, 15:61-73, 2000.

CAPÍTULO 2

VARIABILIDADE ESPACIAL DO ÍNDICE DE QUALIDADE EM UM LATOSSOLO AMARELO COESO ARGISSÓLICO DOS TABULEIROS COSTEIROS, SOB FLORESTA NATURAL. ²

²Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico: Revista Brasileira de Ciência do Solo

VARIABILIDADE ESPACIAL DO ÍNDICE DE QUALIDADE EM UM LATOSSOLO AMARELO COESO ARGISSÓLICO DOS TABULEIROS COSTEIROS, SOB FLORESTA NATURAL.

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo estudar a variabilidade e a dependência espacial do índice de qualidade do solo (IQS) em um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico, sob floresta natural no ambiente dos Tabuleiros Costeiros no Estado da Bahia. A área estudada localiza-se em uma reserva municipal de Mata Atlântica situada no município de Cruz das Almas, BA. As amostras foram coletadas em um “grid” de 18 x 8 m, com espaçamento regular de 2 m, resultando 50 pontos de amostragem. Os parâmetros estatísticos considerados foram às medidas de posição, média, mediana e moda; de dispersão, desvio padrão, amplitude total, variância, coeficientes de variação, assimetria e curtose, quartis superior e inferior. A hipótese de normalidade foi verificada pelo teste de Shapiro & Wilk a 5% e confirmada pela análise da reta de Henry e histograma de probabilidade normal. A dependência espacial das variáveis foi determinada com base no ajuste dos dados ao semivariograma experimental. Por fim, determinou-se o número de amostras necessárias para representar a média do IQS. Os resultados mostram que o índice de qualidade do LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico apresentou baixo coeficiente de variação (10,3%), alcance efetivo de 5,52 m, moderado índice de dependência espacial e número mínimo de 23 subamostras para estimar a média ao nível de 95% de probabilidade e com variação de 10% em torno da média.

Palavras-chave: Heterogeneidade do solo, solos coesos, dependência espacial

SPATIAL VARIABILITY OF THE QUALITY INDEX IN A COHESIVE ARGISOLIC YELLOW LATOSOL – LAX OVER THE TABLELAND SOIL, UNDER A NATURAL FOREST.

SUMMARY: This present research has the objective to study the variability and spatial dependence of the Soil Quality Index (SQI) in a cohesive argisolic Yellow Latosol-Lax, in a environment of natural forest located at the Tableland Soil in state Bahia. The area in study is located in a natural reserve of Atlantic Forest in the city of Cruz das Almas, Bahia. The samples were collected in a grid of 18 x 8 m, with a regular distance of 2 m, resulting 50 points of sampling. The considered statistic parameters were the position measure, average medium and model; of dispersion, standard deviation, total width, variance, variation coefficients, skewness and kurtosis, upper and lower quartile. The normality hypothesis was verified by the test of Shapiro & Wilk a 5% and confirmed by the it analyzes of Henry straight line and histogram of normal probability. The spatial dependence of the variables was determined based the adjustment of the data to the experimental semivariograma. For fire it was determined the number of necessary samples to represent the SQI. The results show that the quality index a cohesive argisolic Yellow Latosol from presented a low variation of coefficient (10,3%), an effective reach of 5,52m, moderated index for spatial dependence and a minimum number of 23 sub-samples to estimate its media at the level of 95% of probability and with variation of 10% around the average.

Keywords: Soil heterogeneity, cohesive soils, spatial dependence

INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural essencial para a diversidade da vida existente no planeta, cujas funções no ambiente são sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde humana, animal e vegetal (Doran & Parkin, 1994). É um sistema complexo, governado por propriedades físicas, químicas e processos biológicos, que estão diretamente relacionados aos diversos processos ambientais e de produção agrícola (Arshad & Coen, 1992).

A qualidade do solo está diretamente vinculada à sustentabilidade e produtividade dos sistemas agrícolas. Pode ser definida por um índice, que resulta da integração de atributos e propriedades do solo, possibilitando quantificar e avaliar o seu funcionamento (Larson & Pierce, 1994). Dentre as diversas proposições de metodologias e modelos para avaliação do índice de qualidade do solo, destaca-se aquela proposta por Karlen & Stott (1994). Esses autores sugerem um modelo aditivo, baseado nos conceitos para sistemas de engenharia, que foi desenvolvido por Wymore, em 1993, para suporte à decisão nas investigações de problemas ambientais. O método apresenta uma estrutura de cálculo em que são estabelecidas as funções principais e seus respectivos indicadores de qualidade, com pesos para ponderação pré-definidos. Após a aplicação do mecanismo desenvolvido por Wymore, o qual integra diferentes funções e indicadores, é possível determinar-se o índice de qualidade do solo (IQS). Os resultados variam na escala de 0 a 1,0. Quando o resultado do IQS é 1,0 (um) o solo apresenta alta qualidade para a função avaliada. Ao contrário, quando o IQS é 0 (zero) ou valor próximo, indica limitações ou baixa qualidade do solo.

Aplicações da metodologia de Karlen & Stott (1994) estão registradas na literatura. Todas concluíram que é uma ferramenta eficiente, precisa e fácil de ser usada, cujos parâmetros são flexíveis o suficiente para possibilitar a sua aplicação para diferentes regiões, sistemas de cultivo e objetivos de avaliação (Hussain et al., 1999; Glover et al., 2000; Cher, 2001; Nortcliff, 2002; Souza et al., 2003). No entanto, para que se estabeleça como um fundamento prático a ser utilizado universalmente, o índice de qualidade do solo deve ser avaliado em diferentes escalas espaciais e temporais, pois, há muito tempo, se reconhece que as

propriedades e atributos dos solos exibem padrões complexos de variabilidade dentro de uma mesma unidade amostral (Smith et al., 1993; Nortcliff, 2002).

A variabilidade do solo é consequência de complexas interações entre os fatores e processos de formação (Oliveira et al., 1999). Conhecer a variabilidade espacial das propriedades e atributos do solo que controlam a produtividade do sistema de produção, os riscos de contaminação e degradação ambiental é de grande importância para qualquer metodologia que tenha como objetivo avaliar a sustentabilidade dos sistemas de manejo, degradação e recuperação do solo (Smith et al., 1993; Corá et al. 2004), à semelhança do índice de qualidade proposto por Karlen & Stott (1994). Não obstante, geralmente os estudos de avaliação da qualidade do solo não consideram esta questão. Por isto, Nortcliff (2002) sugere que os mesmos contemplem, também, a escala representativa do índice determinado, bem como o número ideal de amostras para sua representação.

O presente trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade e a dependência espacial do índice de qualidade do solo (IQS) (Karlen & Stott, 1994) em um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico, sob floresta natural, no ambiente dos Tabuleiros Costeiros no Estado da Bahia.

MATERIAL E MÉTODOS

Local e amostragem

A área estudada está localizada em uma reserva municipal de Mata Atlântica, floresta estacional semidecidual (Brazão & Araújo, 1981), situada no Município de Cruz das Almas, Bahia, cujas coordenadas geográficas são 39° 06' de latitude sul e 12° 40' de longitude oeste, com altitude média de 220 m. O clima local, segundo a classificação de Thornthwaite é caracterizado como subúmido com tendência para o semi-árido. A precipitação média anual é de 1.206 mm, com variações entre 1.000 a 1.300 mm/ano, a temperatura média anual é de 24,2 °C, sendo os meses de janeiro e fevereiro os mais quentes (Ribeiro, 1998). O relevo da área é plano e o solo foi classificado como LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico (LAX) (Melo Filho & Araújo Filho, 1984; Embrapa, 1999).

Amostragem do solo e análises

As amostras foram coletadas nos pontos de cruzamento de uma malha de 18 x 8 m, com espaçamento regular de 2 metros, resultando em 50 pontos de amostragem para uma área total de 144 m² (Figura 1). Em cada ponto foram coletadas amostras indeformadas e deformadas. As amostras deformadas foram coletadas com trado tipo sonda e as indeformadas com trado tipo Uhland (Bravifer), em duas profundidades diferentes, tendo como referência o horizonte coeso, ou seja, uma amostra no interior do coeso e outra 0,2 m acima deste. Em média, as amostras foram retiradas nas profundidades de 0,4 - 0,5 m e 0,6 - 0,7 m.

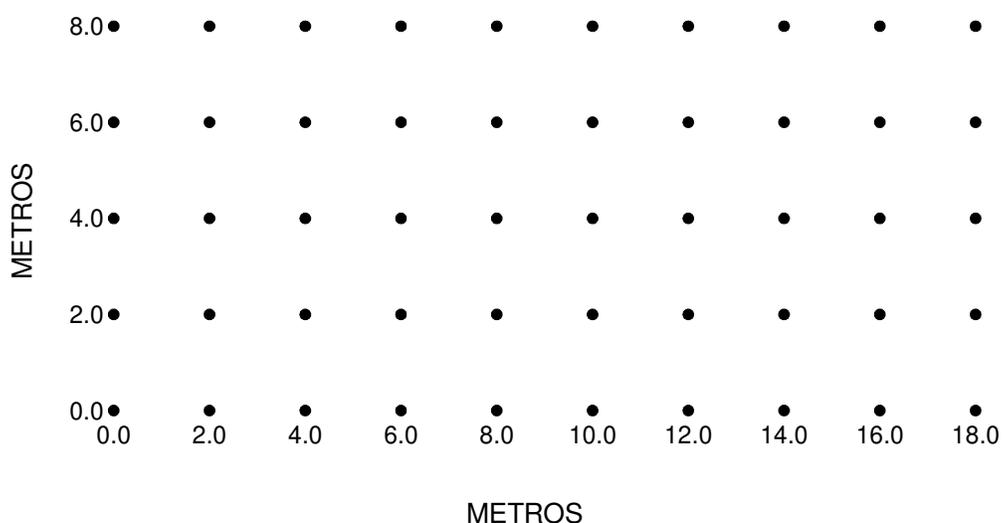


Figura 1. Distribuição espacial dos pontos de amostragem para avaliação do índice de qualidade do solo.

Para determinação do índice de qualidade do solo foram avaliados 11 (onze) indicadores: macroporosidade, densidade do solo, condutividade hidráulica do solo saturado, relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total (U_{v33}/PT) e relação de água disponível/porosidade total (AD/PT), pH, resistência à penetração (RP), capacidade de troca catiônica (CTC), percentagem de saturação por bases (V%), percentagem de saturação por alumínio (m%) e matéria orgânica (MO). Utilizaram-se os seguintes 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 do 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); matéria orgânica pelo método Walkley & Black (1937), descrito em Rajj & Quaggio (1983); para resistência à penetração utilizou-se o penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf, seguindo metodologia proposta por Stolf et al. (1983). Os dados experimentais de resistência à penetração foram obtidos em Kgf cm^{-2} e depois multiplicados pela constante 0,098 para transformação em MPa (Beutler et al., 2001). Objetivando padronizar a resistência à penetração para um mesmo teor de água no solo, neste caso correspondente à tensão de 100 kPa, foram quantificadas simultaneamente a resistência à penetração (RP) e umidade no solo (Ug) durante 8 meses, abrangendo desde a época mais úmida até a mais seca. Os pares de dados foram plotados em um gráfico de RP x Ug e equações de regressão ajustadas (Busscher et al., 1997), sendo possível obter-se o valor da RP para 100 kPa ($RP_{100\text{kPa}}$).

Índice de qualidade do solo (IQS)

Neste estudo utilizou-se a metodologia proposto por Karlen & Stott (1994). Trata-se de um modelo aditivo que usa uma série de funções principais do solo, às quais são atribuídos pesos e são integradas conforme a seguinte expressão:

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

onde *IQS* é o índice de qualidade do solo, *qWi* é o valor calculado para as funções principais que compõem o índice e *wt* é um peso numérico atribuído para cada função na composição do índice geral de qualidade. As funções principais são escolhidas de acordo com o objetivo da avaliação da qualidade e devem ser acompanhadas de indicadores físicos, químicos e biológicos, relacionados diretamente com sua medida. Pesos numéricos são atribuídos às funções principais, de acordo com o grau de importância da mesma para o funcionamento do solo, no desempenho da função para a qual o índice está sendo calculado. Podem ser usados critérios socioeconômicos, necessidades de cultivo, necessidades dos agricultores e preocupações ambientais. O somatório dos pesos de todas as funções principais deve resultar 1,0 (um). Esse é o valor do IQS para um solo ideal em relação ao objetivo considerado. Quando o solo apresenta limitações e não tem

qualidade o valor é zero, sendo este o menor valor possível. Após atribuir os pesos relativos para as funções, devem ser identificados e priorizados os indicadores que influenciam cada função. Indicadores mais diretamente relacionados com uma função terão maior ponderação. Assim como para as funções principais, pesos numéricos devem ser atribuídos para os indicadores, da mesma forma, o somatório geral dos pesos dos indicadores em cada nível deve ser 1,0 (um).

As funções principais, indicadores de qualidade, ponderadores e limites críticos foram estabelecidos com base em Souza et al. (2003) e estão sumarizados no Quadro 1. As funções principais foram: 1) Crescimento Radicular em Profundidade (CRP); 2) Condução e Armazenamento de Água (CAA); e 3) Suprimento de Nutrientes (SN).

Os cálculos foram realizados, primeiramente, com o objetivo de integrar os indicadores de cada função principal, utilizando-se a seguinte expressão:

$$q(FP) = I_1 \times W_1 + \dots + I_n \times W_n \quad [2]$$

onde I_n representa os valores de diferentes indicadores, e W_n são os pesos relativos atribuídos a cada um. Os pesos representam a importância de cada indicador na qualidade do solo em um determinado ambiente. Na segunda etapa multiplicou-se os valores encontrados em cada função pelo seu respectivo ponderador e efetuou-se a soma de todas as funções principais determinando-se, assim, o índice de qualidade do solo (*IQS*), conforme a seguinte expressão:

$$IQS = qCRP \times wCRP + qCAA \times wCAA + qSN \times wSN \quad [3]$$

onde *IQS* é o índice de qualidade do solo, *qCRP* é o valor ponderado da função crescimento radicular em profundidade, *qCAA* capacidade de armazenamento de água e *qSN* suprimento de nutrientes, *w* são os ponderadores associados a cada indicador ou a cada função principal.

Quadro 1. Funções principais e indicadores físicos e químicos utilizados para avaliação da qualidade de um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico sob mata natural no ambiente dos Tabuleiros Costeiros. Cruz Das Almas, Bahia, Brasil

Funções principais	Ponderadores das funções	Indicadores de qualidade (*)	Unidade dos Indicadores	Ponderadores dos indicadores	Limites críticos		Referências dos limites críticos
					Inferior	Superior	
Crescimento radicular em profundidade (CRP)	0,40	RP _{100kPa}	MPa	0,40	0,53		Taylor et al. (1966)
		Mp	m ³ m ⁻³	0,30	0,10	0,30	Carter (2002)
		Ds	kg dm ⁻³	0,10	1,0		Santana (2003)
		m	%	0,20	50		Lepsch (1983)
Condução e armazenamento de água (CAA)	0,40	K ₀	cm h ⁻¹	0,20	2,0	20	Lepsch (1983)
		Mp	m ³ m ⁻³	0,20	0,10	0,30	Carter (2002)
		Uv _{33kPa} /PT	-	0,30	0,55		Souza et al. (2003)
		AD/PT	-	0,30	0,125		Souza et al. (2003)
Suprimento de nutriente (SN)	0,20	pH em água	-	0,10	5,0	9,0	C. E. F. Solo (1989)
		CTC _{pot}	cmol _c dm ⁻³	0,40	4,0		Lepsch (1983)
		V	%	0,20	50		Lepsch (1983)
		M. O.	g kg ⁻¹	0,30	15		C. E. F. Solo (1989)

(*) RP_{100kPa} = resistência à penetração a 100kPa de umidade no solo; Mp = macroporosidade do solo; Ds = densidade do solo; m = saturação por alumínio; K₀ = condutividade hidráulica do solo saturado; Uv_{33kPa}/PT = relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total; AD/PT = relação água disponível (umidade volumétrica a 1500 kPa – umidade volumétrica a 33 kPa)/porosidade total; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por base; e M. O. = matéria orgânica. C.E.F. Solo = Comissão Estadual de Fertilidade do Solo (1989). Fonte: Modificado de Souza et. al. (2003).

Análises estatísticas

Inicialmente, realizou-se uma análise exploratória descritiva dos indicadores, funções e do índice de qualidade do solo (IQS), utilizando-se o programa Statistica for Windows (Stat. Soft, 1993). Os parâmetros considerados foram às medidas de posição, média, mediana e moda; de dispersão, desvio padrão, amplitude total, variância, coeficientes de variação, assimetria, curtose e quartil superior e inferior. A hipótese de normalidade foi verificada pelo teste de Shapiro & Wilk a 5% e confirmada pela análise da reta de Henry e histograma de probabilidade normal (Libardi et al., 1996). Para identificação dos “outliers”, no conjunto de dados originais, utilizando-se as seguintes equações:

$$L.S. = (Q_3 + 1,5 \times dF) \quad [4]$$

$$L.I. = (Q_1 - 1,5 \times dF) \quad [5]$$

onde *L.S.* e *L.I.* são os limites superiores e inferiores, respectivamente, acima e abaixo do qual os valores são considerados “outliers”, Q_1 e Q_3 , são o primeiro e terceiro quartil, respectivamente e *dF* é a dispersão interquartil (Libardi et al., 1996).

A dependência espacial das variáveis foi determinada com base no ajuste dos dados ao semivariograma experimental, tendo como fundamento a teoria das variáveis regionalizadas. Utilizou-se o programa GS+ (Robertson, 1998).

Segundo Vieira (2000) o semivariograma é definido por:

$$\gamma(h) = (1/2) E \{ [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \} \quad [6]$$

e pode ser estimado por:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad [7]$$

em que $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, separados pela distância *h*. Os seguintes modelos matemáticos foram utilizados para ajustar os dados de semivariância obtidos pela equação [6]:

a) Modelo esférico:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], \quad 0 < h < a \quad [8]$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1, \quad h \geq a; \quad [9]$$

b) Modelo exponencial:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp \left(-3 \frac{h}{a} \right) \right], \quad 0 < h < d \quad [10]$$

em que d é a máxima distância na qual o semivariograma é definido.

Nos dois modelos acima, C_0 é o efeito pepita, $C_0 + C_1$ é o patamar, e “ a ” é o alcance do semivariograma. A seleção dos modelos foi realizada com base no melhor coeficiente de determinação (R^2) e menor soma de quadrados do resíduo (SQR). Quanto mais próximo de 1,0 for o R^2 e quanto menor for a SQR mais ajustado estará a distribuição dos dados ao modelo (Robertson, 1998). A elaboração dos mapas de superfície foi realizada no programa Sufer 6.01 (Golden Software, 1995), com base nos valores estimados de krigagem, calculados no programa GS+ (Robertson, 1998).

Determinou-se o grau de dependência espacial conforme a equação proposta por Cambardella et al. (1994), a qual pode ser expressa da seguinte forma:

$$IDE = \frac{C_0}{C_0 + C_1} \times 100 \quad [11]$$

onde IDE é o índice de dependência espacial, que mede a dependência espacial, C_1 o efeito pepita e $C_0 + C_1$ o patamar. Utilizou-se a seguinte classificação $IDE \leq 25\%$ - forte dependência espacial, entre 25% e 75% - moderada dependência espacial e $\geq 75\%$ - fraca dependência espacial. Por fim, determinou-se o número de amostras necessárias para representar a média do IQS conforme Santos & Vasconcelos (1987).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos dados originais, referentes à análise descritiva do IQS, das funções principais e de seus respectivos indicadores encontram-se no Quadro 2, e, no Quadro 3, os dados após a retirada dos valores extremos ou *outliers*. A análise destes quadros permite observar o comportamento das medidas de posição e distribuição de cada indicador, seus reflexos nas funções e, por fim, no índice de qualidade do solo.

Observa-se que, com exceção da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0), todas as outras variáveis apresentaram valores da média e da mediana muito próximos, o que segundo Cambardella et al. (1994) seria um indicativo de que estas medidas não estariam sendo afetadas por valores atípicos, o que não se confirmou, tendo em vista que apenas dois indicadores de qualidade (Mp e pH) não apresentaram *outliers* (Quadro 2). Em relação ao número de *outliers* é possível organizar os indicadores, em ordem decrescente, independente da função em que se encontram, sendo assim pH (3) > K_0 e Ds (2) > m, Uv_{33}/PT , AD/PT, V% e MO (1).

A eliminação dos *outliers* provocou mudanças importantes na distribuição dos dados, aproximou os valores da média e da mediana, reduziu a amplitude dos dados e diminuiu o coeficiente de variação dos indicadores de qualidade, notadamente na K_0 . Nos demais a magnitude do efeito da retirada dos *outliers* foi baixa, tendo em vista a pequena redução nos valores da média, mediana e no CV (Quadro 3). Os *outliers* também interferiram na distribuição dos indicadores AD/PT, pH e V%, que não apresentaram resultados significativos ($P < 0,05$) tanto para a distribuição normal, quanto para distribuição lognormal pelo teste de Shapiro & Wilk (Quadro 2). Após a retirada desses valores, os indicadores, AD/PT, pH e V% passaram a apresentar distribuição normal (Quadro 3). Outra observação interessante relativa ao efeito dos *outliers* foi à redução da significância do teste W para normalidade, na função CAA e nos indicadores K_0 , Uv_{33}/PT e MO, os quais tiveram o nível de significância do teste reduzido com a retirada dos outliers, muito embora tenham mantido o mesmo padrão.

Quadro 2. Medidas estatísticas dos dados originais para o índice de qualidade do solo (IQS), indicadores de qualidade e suas respectivas funções principais em um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico sob mata natural no ambiente dos Tabuleiros Costeiros. Cruz das Almas, Bahia, Brasil

Variável	nº	Média	Mediana	Coeficientes			1º Quartil	3º Quartil	Valor		Amplitude	Distribuição		Outliers
				Variação	Assimetria	Curtose			Máximo	Mínimo		P < W		
IQS	50	0,464	0,458	10,3	-0,08	-0,15	0,427	0,497	0,558	0,337	0,222	N	0,7626	0
CRP	50	0,287	0,285	10,6	0,04	-1,20	0,258	0,313	0,341	0,230	0,110	*L	0,0308	0
CAA	50	0,099	0,101	26,8	-0,34	0,59	0,078	0,112	0,148	0,018	0,131	N	0,3355	1
SN	50	0,078	0,078	4,86	-0,31	-0,09	0,075	0,080	0,086	0,069	0,017	N	0,7277	0
Indicadores da função crescimento radicular em profundidade (CRP)														
Mp	50	0,104	0,100	22,4	0,38	-0,62	0,09	0,12	0,16	0,05	0,10	N	0,0759	0
Ds	50	1,69	1,69	2,24	-0,56	0,25	1,66	1,71	1,76	1,59	0,17	N	0,2337	2
m	50	41,0	41,9	13,6	-0,82	1,25	37,5	45,3	50,2	22,2	28,0	N	0,1310	1
Indicadores da função condução e armazenamento de água (CAA)														
K₀	50	20,2	16,4	53,0	1,00	0,90	12,3	25,6	54,5	2,91	51,5	L	0,4481	2
Mp	50	0,104	0,100	22,4	0,38	-0,62	0,09	0,12	0,16	0,05	0,10	N	0,0759	0
Uv_{33kPa}/PT	50	0,31	0,31	8,83	0,00	0,29	0,29	0,33	0,39	0,25	0,14	N	0,9323	1
AD/PT	50	0,08	0,08	15,78	1,05	2,73	0,07	0,09	0,13	0,06	0,07	nN	0,0344	1
Indicadores da função suprimento de nutrientes (SN)														
pH	50	4,46	4,43	2,76	1,52	3,27	4,39	4,49	4,91	4,28	0,63	nN	0,0001	3
CTC	50	5,90	5,98	7,11	0,15	-0,71	5,55	6,14	6,74	5,15	1,59	N	0,1957	0
V	50	24,3	24,0	11,8	1,81	6,94	22,2	25,7	37,1	19,7	17,4	nN	0,0001	1
MO	50	7,40	7,44	7,64	-0,18	0,48	6,99	7,74	8,66	5,79	2,87	N	0,9876	1

IQS = índice de qualidade do solo; CRP = crescimento radicular em profundidade; CAA = condução e armazenamento de água; SN = suprimento de nutrientes; RP_{100kPa} = resistência à penetração a 100kPa de umidade no solo; Mp = macroporosidade do solo; Ds = densidade do solo; m = saturação por alumínio; K₀ = condutividade hidráulica do solo saturado; Uv_{33kPa}/PT = relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total; AD/PT = relação água disponível (umidade volumétrica a 1500 kPa – umidade volumétrica a 33 kPa)/porosidade total; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por base; M. O. = matéria orgânica; e C. E. F. S. (1989) = Comissão Estadual de Fertilidade do Solo (1989). P < W = resultados do teste de normalidade de Shapiro & Wilk (5%); Distribuição de frequência; nN = distribuição não normal; N = distribuição normal; * L = distribuição mais próxima a lognormal; L = distribuição lognormal.

Quadro 3. Medidas estatísticas após a retirada dos *outliers* para o índice de qualidade do solo (IQS), indicadores de qualidade e suas respectivas funções principais em um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico sob mata natural no ambiente dos Tabuleiros Costeiros. Cruz das Almas, Bahia, Brasil

Variável	nº	Média	Mediana	Coeficientes			1º Quartil	3º Quartil	Valor			Distribuição	
				Varição	Assimetria	Curtose			Máximo	Mínimo	Amplitude	P < W	
IQS	50	0,464	0,458	10,3	-0,08	-0,15	0,427	0,497	0,558	0,337	0,222	N	0,7626
CRP	50	0,287	0,285	10,6	0,04	-1,20	0,258	0,313	0,341	0,230	0,110	*L	0,0308
CAA	49	0,101	0,103	23,9	0,16	-0,64	0,078	0,112	0,148	0,058	0,090	N	0,0846
SN	50	0,078	0,078	4,86	-0,31	-0,09	0,075	0,080	0,086	0,069	0,017	N	0,7277
Indicadores da função crescimento radicular em profundidade (CRP)													
Mp	50	0,104	0,100	22,4	0,38	-0,62	0,09	0,12	0,16	0,05	0,10	N	0,0759
Ds	48	1,69	1,69	1,94	-0,13	-0,53	1,67	1,72	1,76	1,62	0,14	N	0,6231
m	49	41,4	42,2	11,9	-0,26	-0,63	37,9	45,3	50,2	30,7	19,5	N	0,3067
Indicadores da função condução e armazenamento de água (CAA)													
K₀	49	19,5	16,1	49,2	0,66	-0,34	12,34	25,48	43,5	2,91	40,6	L	0,1824
Mp	50	0,104	0,100	22,4	0,38	-0,62	0,09	0,12	0,16	0,05	0,10	N	0,0759
Uv₃₃/PT	49	0,31	0,31	8,21	-0,39	-0,38	0,30	0,33	0,35	0,25	0,11	N	0,2025
AD/PT	49	0,08	0,08	13,6	0,15	-0,61	0,07	0,09	0,11	0,06	0,05	N	0,6643
Indicadores da função suprimento de nutrientes (SN)													
pH	47	4,43	4,43	1,95	0,47	0,12	4,39	4,49	4,65	4,28	0,37	N	0,1959
CTC	50	5,90	5,98	7,11	0,15	-0,71	5,55	6,14	6,74	5,15	1,59	N	0,1957
V	49	24,0	23,9	9,21	0,13	-0,83	22,2	25,6	28,2	19,7	8,53	N	0,2964
MO	49	7,44	7,44	7,00	0,21	-0,23	7,00	7,74	8,66	6,44	2,22	N	0,7475

IQS = índice de qualidade do solo; CRP = crescimento radicular em profundidade; CAA = condução e armazenamento de água; SN = suprimento de nutrientes; RP_{100kPa} = resistência à penetração a 100kPa de umidade no solo; Mp = macroporosidade do solo; Ds = densidade do solo; m = saturação por alumínio; K₀ = condutividade hidráulica do solo saturado; Uv_{33kPa}/PT = relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total; AD/PT = relação água disponível (umidade volumétrica a 1500 kPa – umidade volumétrica a 33 kPa)/porosidade total; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por base; M. O. = matéria orgânica; e C. E. F. S. (1989) = Comissão Estadual de Fertilidade do Solo (1989). P < W = resultados do teste de normalidade de Shapiro & Wilk (5%); Distribuição de freqüência; nN = distribuição não normal; N = distribuição normal; * L = distribuição mais próxima a lognormal; L = distribuição lognormal.

Os coeficientes de variação apresentados pelo índice de qualidade do solo (IQS) e pelas funções principais foram diferentes. O coeficiente de variação do IQS apresentou baixa variação, com CV de 10,3%, enquanto a função CAA, apresentou variação moderada com CV de 26,8%. As funções CRP e SN apresentaram baixa variação com 10,6%, e 4,86%, respectivamente. O coeficiente de variação das funções principais parece ser influenciado pela amplitude da dispersão apresentada pelos seus respectivos indicadores, tendo em vista que a maior diferença entre os coeficientes de variação dos indicadores está associada às funções com maior CV, o que é perfeitamente possível de ser aceito, pois o CV possibilita a comparação da dispersão dos dados independentes de suas unidades, conforme afirmam Warrick & Nielsen (1980).

Os valores do IQS encontrados na área variaram de 0,337 a 0,558, concentrando-se entre 0,427 e 0,497, que refere-se ao 1º e 3º quartil, respectivamente, demonstrando que o IQS é baixo, porém não muito distante do seu limite crítico (0,500). Quanto as funções principais os valores encontrados para CRP variaram de 0,230 a 0,341, para CAA de 0,018 a 0,148 e para SN de 0,069 a 0,086, que correspondem aos valores máximos e mínimos de cada função, respectivamente. A distribuição dos valores pode ser melhor observada nos mapas de superfície e contorno apresentados nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

Todas as variáveis apresentaram dependência espacial expressa pelo semivariograma (Figuras 4 a 7). Na função CRP, os indicadores M_p e $m\%$, ajustaram-se melhor ao modelo esférico (Figura 4), concordando com Carvalho et al. (2003) e Souza et al. (2004), enquanto que a D_s ajustou-se ao modelo exponencial, da mesma forma que foi verificado por Souza et al. (2004). Tanto os modelos esféricos, quanto os exponenciais apresentaram R^2 acima de 0,90 (Quadro 4) indicando que existe grande concentração de pontos próximos à curva do modelo teórico (Robertson, 1998). Na função CAA, os indicadores K_0 , U_{v33}/PT e AD/PT tiveram seus modelos ajustados à função de semivariância do tipo exponencial (Figura 5), com R^2 de 0,92, 0,98 e 0,88 respectivamente (Quadro 4), enquanto que a M_p ajustou-se melhor ao modelo esférico de semivariograma, mesmo resultado encontrado por Carvalho et al., (2003). Na função SN, os dados de pH e CTC ajustaram-se melhor a modelos esféricos (Figura 6), com R^2 de 0,98 para os dois casos. Os indicadores $V\%$ e MO ajustaram-se melhor a modelos exponenciais,

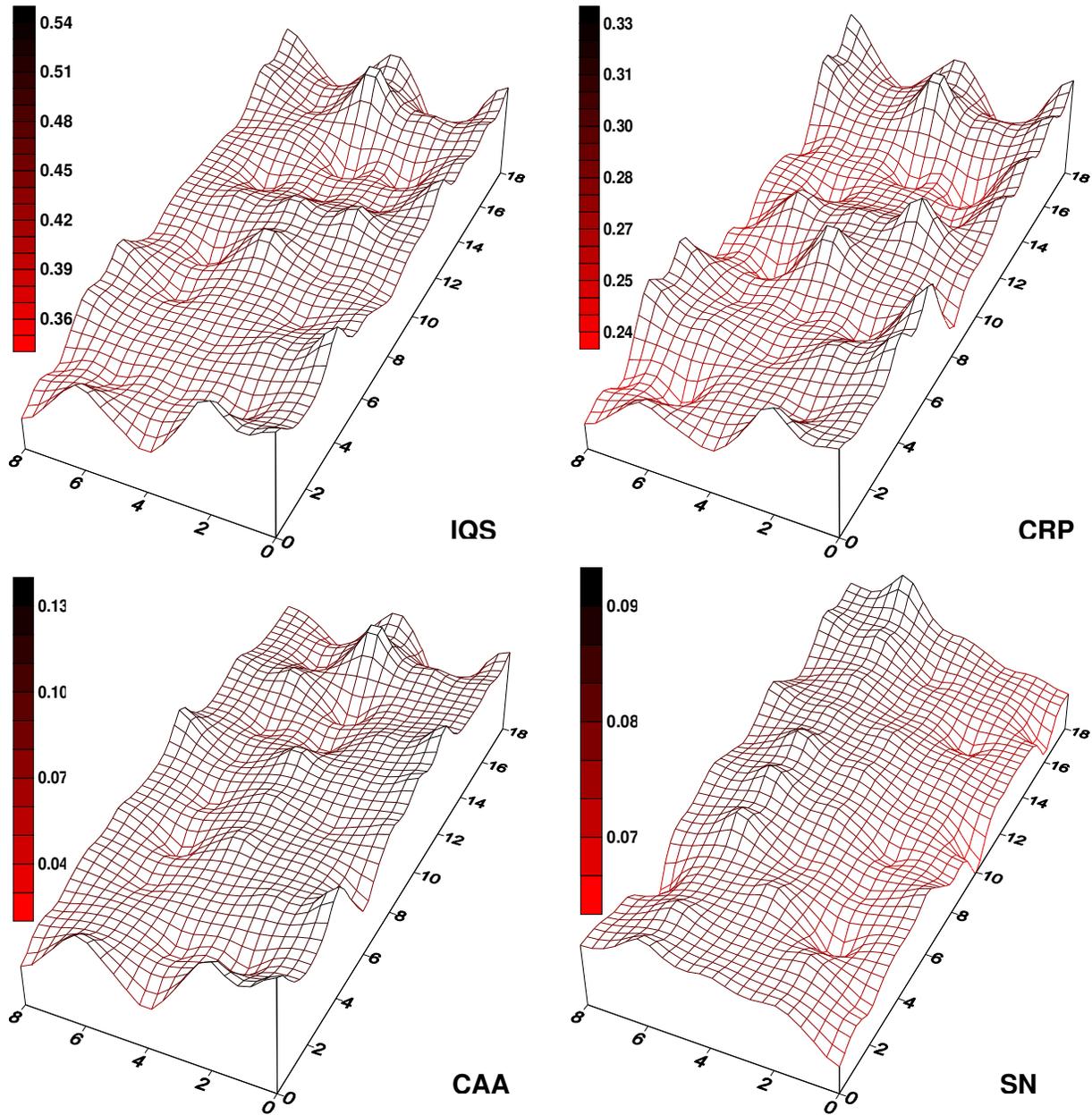


Figura 2. Mapas de superfície para o índice de qualidade do solo (IQS), funções principais: crescimento radicular em profundidade (CRP), condução e armazenamento de água (CAA) e suprimento de nutriente (SN), em um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

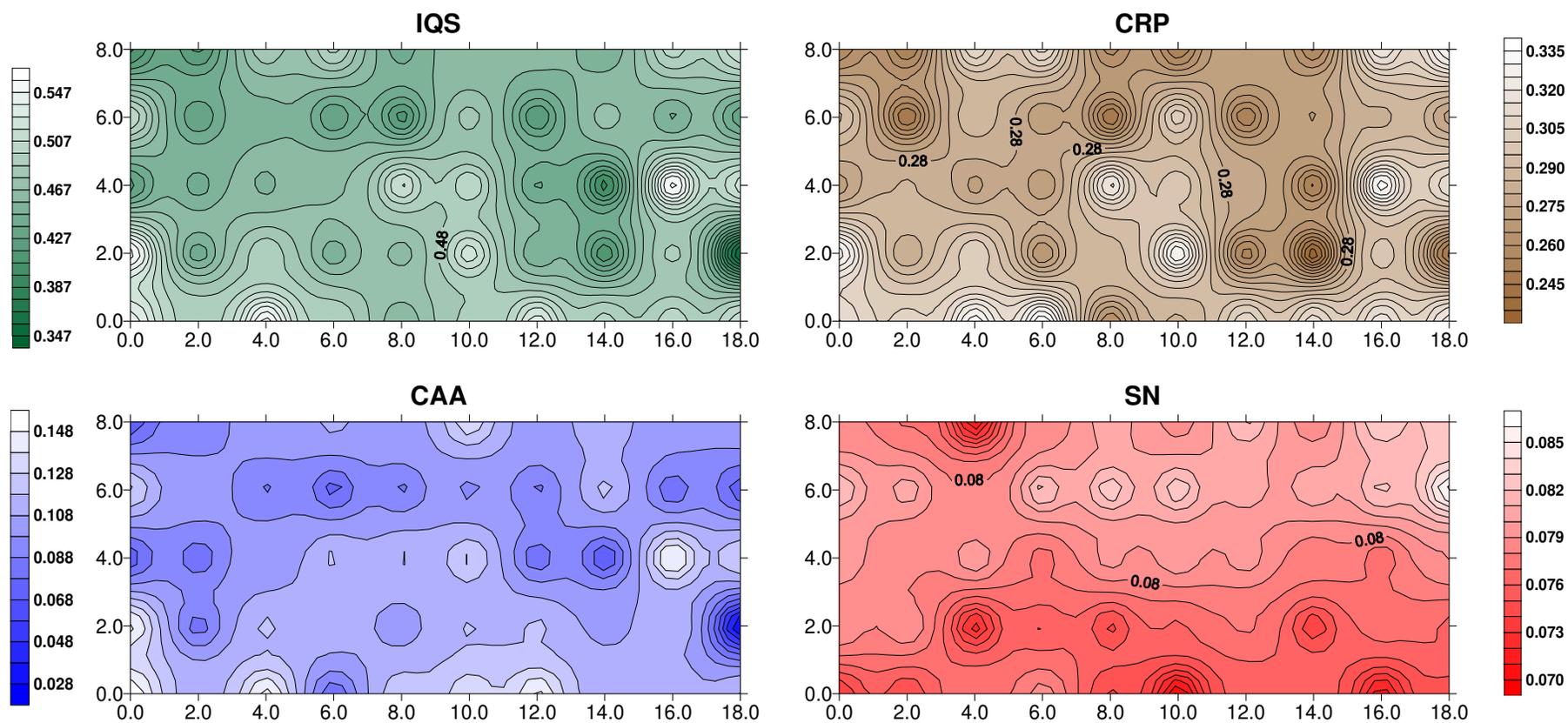


Figura 3. Mapas de contorno para o índice de qualidade do solo (IQS), funções principais: crescimento radicular em profundidade (CRP), condução e armazenamento de água (CAA) e suprimento de nutrientes (SN) em um LATOSSOLO AMARELO Coeso argiloso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

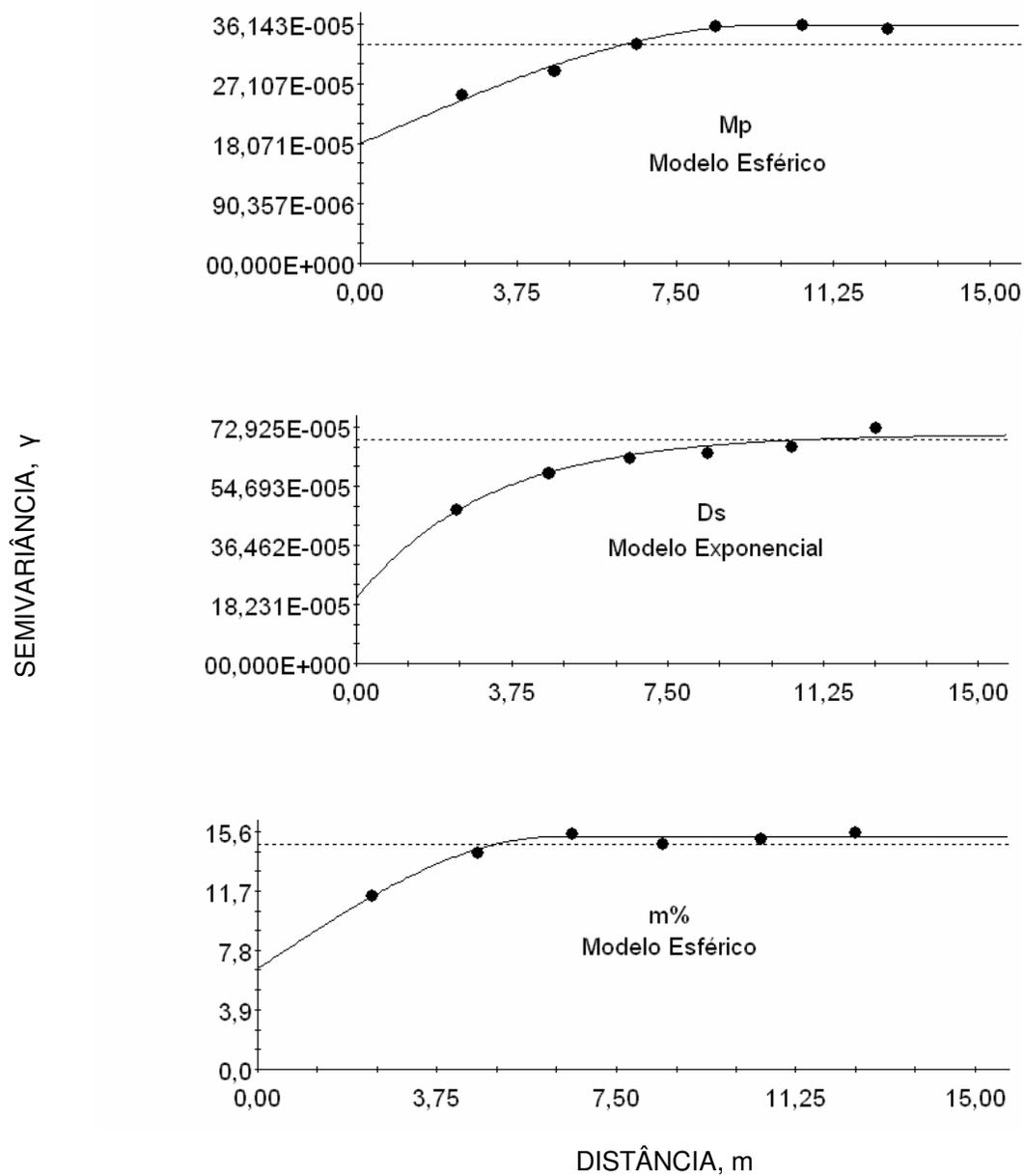


Figura 4. Modelos de semivariogramas dos indicadores: Mp – macroporosidade, Ds – densidade do solo e m% - saturação por alumínio, da função crescimento radicular em profundidade (CRP).

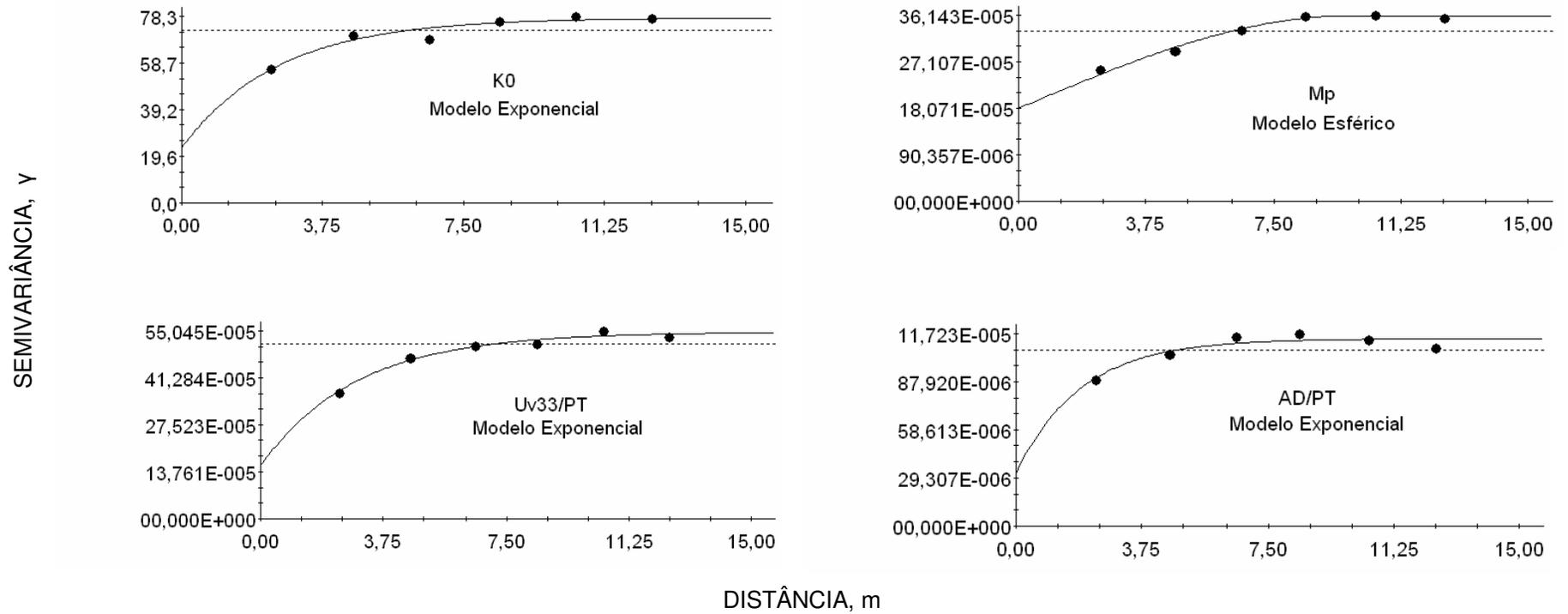


Figura 5. Modelos de semivariogramas dos indicadores: K0 – condutividade hidráulica em solo saturado, Mp – macroporosidade, Uv33/PT – relação umidade volumétrica/porosidade total na capacidade de campo e AD/PT – relação água disponível/porosidade total, da função condução e armazenamento de água (CAA).

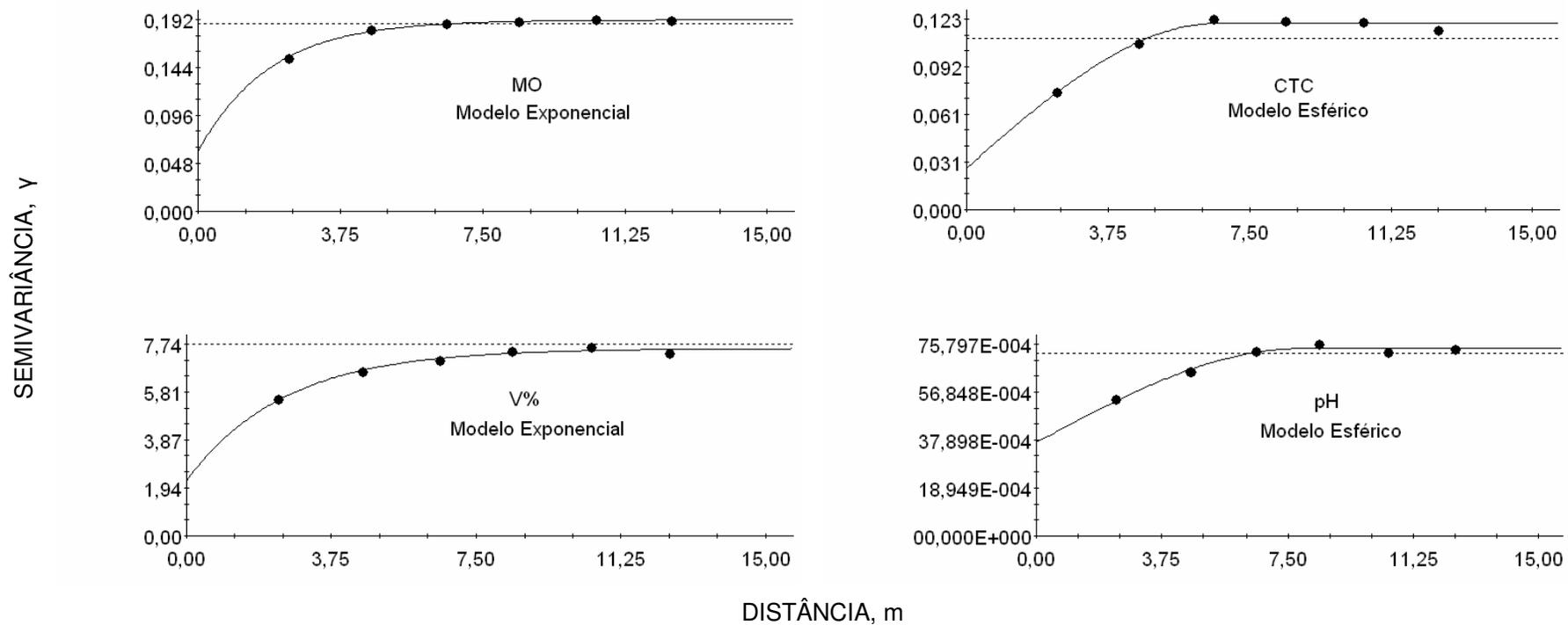


Figura 6. Modelos de semivariogramas dos indicadores: MO – matéria orgânica, CTC – capacidade de troca catiônica, V% - saturação por base e pH, da função suprimento de nutrientes (SN).

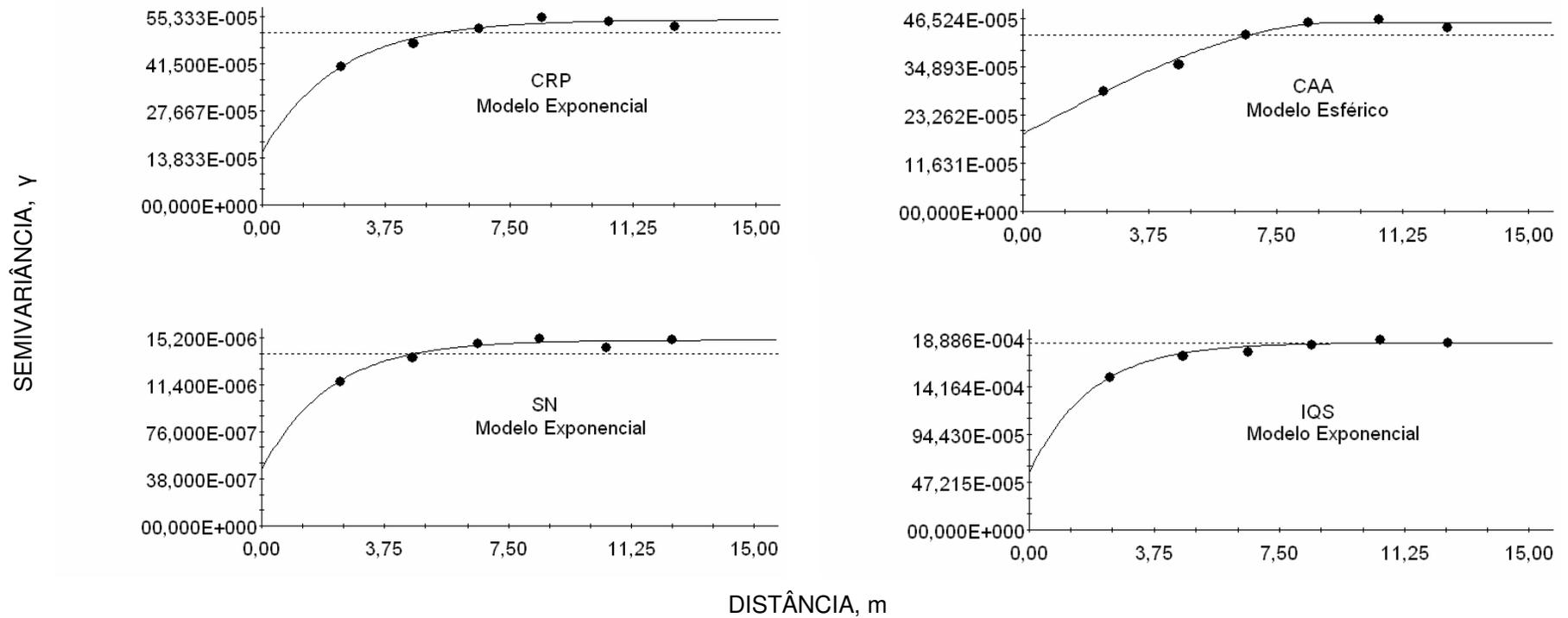


Figura 7. Modelos de semivariogramas das funções principais: CRP – crescimento radicular em profundidade, CAA – condução e armazenamento de água, SN – suprimento de nutrientes do IQS - índice de qualidade do solo.

com R^2 de 0,98 e 0,99, respectivamente. Nesta função os modelos ajustados para CTC e MO foram os mesmos encontrados por Corá et al. (2004) e os ajustados para pH e V% semelhantes aos encontrados por Carvalho et al. (2003).

O IQS ajustou-se ao modelo exponencial, com R^2 de 0,95, enquanto suas funções principais foram assim ajustadas, CRP e SN, modelo exponencial, com R^2 de 0,94 e 0,95 de coeficiente de determinação e a função CAA ao modelo esférico, com 0,98 (Figura 7). Estes resultados mostram que parece não haver relação entre os modelos de semivariogramas ajustados para os indicadores de qualidade e suas respectivas funções principais. Por exemplo, a CRP apresentou modelo exponencial, enquanto a maioria dos indicadores ajustou-se a um modelo diferente, neste caso esférico. Este fato também foi verificado na função CAA, modelada para um semivariograma esférico, cujos indicadores em sua maioria apresentaram semivariograma exponencial.

O alcance é uma informação importante para planejar e avaliar procedimentos futuros de amostragem, pois representa a distância máxima de correlação entre os pontos amostrados (McBratney & Webster, 1983; Souza et al., 2004). O alcance do IQS foi de 5,52 m, menor do que os alcances das funções principais CRP, CAA e SN que foram de 7,02 m, 9,40 m e 6,21 m, respectivamente. O mesmo ocorreu com a maioria dos indicadores, os quais tiveram alcance maior que suas funções, com exceção da função CAA, na qual o comportamento mostrou-se inverso, ou seja, apresentou alcance maior que a maioria dos seus indicadores. Este comportamento demonstra que não existe um padrão de correlação entre o alcance das funções principais e de seus indicadores.

O índice de dependência espacial (IDE), segundo a classificação de Cambardella et al. (1994), mostra que a dependência espacial do IQS foi moderada. Comportamento semelhante também foi apresentado pelas funções CRP e CAA, enquanto que a função SN apresentou forte dependência espacial. Quanto aos indicadores de qualidade, verificou-se que a maioria apresentou IDE moderado e apenas a CTC apresentou forte dependência espacial (Quadro 4). Segundo Cambardella et al. (1994), este resultado está coerente, pois os atributos que possuem forte dependência espacial são características de propriedades intrínsecas ao solo, enquanto os que apresentaram fraca dependência espacial são

Quadro 4. Modelos e parâmetros estimados pelos semivariograma ajustado aos dados das funções e indicadores de qualidade do solo em um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico, sob floresta natural. Cruz das Almas, Bahia, Brasil

Parâmetros	Modelo	C ₀	Patamar	a	C ₀ /(C ₀ +C)	IDE	R ²	SQR
IQS	Exponencial	0,0006	0,0019	5,52	0,316	moderado	0,95	4,59E-09
CRP	Exponencial	0,0002	0,0005	7,02	0,400	moderado	0,95	7,27E-10
CAA	Esférico	0,0002	0,0005	9,40	0,400	moderado	0,98	4,29E-10
SN	Exponencial	0,000001	0,00002	6,21	0,05	forte	0,94	4,58E-13
Indicadores da função crescimento radicular em profundidade (CRP)								
Mp	Esférico	0,0002	0,0004	9,70	0,500	moderado	0,99	1,89E-10
Ds	Exponencial	0,0003	0,0009	7,26	0,333	moderado	0,95	2,07E-09
m	Esférico	4,1900	15,570	6,96	0,269	moderado	0,99	0,0295
Indicadores da função condução e armazenamento de água (CAA)								
K₀	Exponencial	23,100	77,860	7,77	0,297	moderado	0,92	29,7
Mp	Esférico	0,0002	0,0004	9,70	0,500	moderado	0,99	1,89E-10
Uv₃₃/PT	Exponencial	0,0002	0,0005	8,85	0,400	moderado	0,98	4,42E-10
AD/PT	Exponencial	0,00003	0,00011	5,85	0,272	moderado	0,88	6,29E-11
Indicadores da função suprimento de nutrientes (SN)								
pH	Esférico	0,0037	0,0074	7,89	0,500	moderado	0,98	6,09E-08
CTC	Esférico	0,0270	0,1200	6,63	0,225	forte	0,98	3,18E-05
V	Exponencial	2,2100	7,5800	7,62	0,292	moderado	0,98	0,062
MO	Exponencial	0,0591	0,1922	5,64	0,307	moderado	0,99	7,43E-06

C₀ = efeito pepita; a = alcance efetivo; C = variância estrutural; IDE = índice de dependência espacial; IQS = índice de qualidade do solo; CRP = crescimento radicular em profundidade; CAA = condução e armazenamento de água; SN = suprimento de nutrientes; Mp = macroporosidade do solo; Ds = densidade do solo; m = saturação por alumínio; K₀ = condutividade hidráulica do solo saturado; Uv_{33kPa}/PT = relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total; AD/PT = relação água disponível (umidade volumétrica a 1500 kPa – umidade volumétrica a 33 kPa)/porosidade total; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por base; M. O. = matéria orgânica;

influenciados por fatores externos.

Comprovada a hipótese de normalidade e assumindo a independência dos dados, calculou-se o número de amostras necessárias para estimar o valor do IQS. Os resultados encontram-se no quadro 5. A análise desse quadro mostra que a determinação do IQS com 95% de probabilidade e uma variação de 5% em torno da média, não é onerosa, nem custosa, pois para tal é preciso apenas a coleta de 17 amostras. Contudo, para que o IQS seja calculado é preciso determinar cada função que o compõe. Por apresentar essa característica, a determinação do número mínimo de amostras não deve considerar apenas as amostras necessárias para determinação do IQS, mas sim a quantidade de amostras necessárias para determinar suas funções. Tendo em vista que o número mínimo de amostras necessárias para determinar as funções principais do IQS é maior que o número de amostras necessárias para determinar o índice, surge então um problema, relativo ao número correto de repetições para a amostragem. Neste caso, sugere-se considerar o número de amostras da função mais exigente e uma estimativa de variação de 10% em torno da média. Assim, o número ideal seriam 23 amostras, o que atenderia as exigências da função CAA e possibilitaria a obtenção do índice de qualidade de uma área com razoável precisão.

Quadro 5. Número aproximado de amostras necessárias para estimar o valor médio do índice e das funções principais de qualidade do solo em um LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. Cruz das Almas, Bahia, Brasil

Parâmetros	Estimativa de erro em torno da média			
	5%	10%	20%	30%
IQS	17,0	4,0	1,0	1,0
CRP	18,0	5,0	1,0	1,0
CAA	92,0	23,0	6,0	3,0
SN	4,0	1,0	1,0	1,0

CONCLUSÕES

O índice de qualidade do solo do LATOSSOLO AMARELO Coeso argissólico apresentou baixo coeficiente de variação (10,3%), alcance efetivo de 5,52 m e moderado índice de dependência espacial.

O método de determinação do índice de qualidade do solo não é oneroso, tendo visto o número mínimo de 23 subamostras para estimar a média do IQS ao nível de 95% de probabilidade e com variação de 10% em torno da média.

LITERATURA CITADA

- ARSHAD, M. A.; COEN, G. M. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*. v. 7, n. 1, p. 25 – 31, 1992.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PERREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:167 – 177, 2001.
- BRAZÃO, J. F. M.; ARAUJO, A. P. Vegetação. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico. In: RADAMBRASIL. Folha SD 24 – Salvador. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1981. v.24, cap. 4, p 405 – 464.
- BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R.; SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil and Tillage Research*, v.43, p.205 – 217. 1977.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F. & KONOPKA, A. E. Field-scale variability of properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58:1501 – 1511, 1994.
- CARTER, M. R. Quality, critical limits and standardization. In: LAL, R. (ed.). *encyclopedia of soil science*. New York, Marcel Dekker, 2002. p. 1062 – 1065.
- CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Rev. Bras. Ci. Solo*, 27:695 – 703, 2003.
- CHER, G. M. Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

- 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.
- CORÁ, J. E.; ARAÚJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 28:1013 – 1021, 2004.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: *Defining soil quality for a sustainable environment*. Doran, J. W. et al. Madison, Wisconsin, USA, Soil Sci. Soc. Am., p. 3 – 21, 1994, (Special publication, 35).
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos (EMBRAPA-CNPS), 1997. 212 p.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos (EMBRAPA-CNPS), 1999. 412 p.
- GLOVER, J.D.; REGANOLD, J.P. e ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agric. Ecosys. Environ.*, v. 80, n. 1 – 2, aug, p. 29 – 45, 2000.
- GOLDEN SOFTWARE. Surfer for Windows: Surface mapping system. Versão 6.01. golden, 1995. Não paginado.
- HUSSAIN, I.; OLSON, K.R.; WANDER, M.M.; KARLEN, D.L. 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: *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Special Publication n. 35, Soil Science Society of America, Madison, WI, p. 53 – 72, 1994.
- KIEHL, E. J. Manual de edafologia. São Paulo: Ed. Agronômica “Ceres”, 1979. 262 p.
- LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, WI, Soil Science Society of America, 1994, p. 37–52, (Special Publication, 35).
- LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. 2ª ed. Piracicaba: o autor, 2000. 509 p.

- LIBARDI, P. L.; MANFRON, P.A.; MORAES, S. O.; TUON, R. L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. R. Bras. Ci Solo, Campinas, v. 20:1 – 12, 1996.
- 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. 175 p.
- MELO FILHO, H. F. R.; ARAÚJO FILHO, J. O. Descrição de perfil (1984). In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. Anais... Cruz das Almas, p 7 – 10, 1996.
- McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? Soil Science, 135:177 – 183, 1983.
- NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. Agriculture, Ecosystems and Environment. v. 88, n. 2, p. 161 – 168, feb. 2002.
- OLIVEIRA, J. J.; CHAVES, L. H. G.; QUEIROZ, J. E.; LUNA, J. G. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. Rev. Bras. Ci. Solo, 23:783 – 789, 1999.
- RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31 p. (Boletim técnico nº 81).
- RIBEIRO, L. P. Os LATOSSOLOS AMARELOS do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação. Salvador: Seplantec – CADCT, 1998. 99 p.
- ROBERTSON, G. P. GS⁺: Geostatistics for the environmental sciences. Versão 5.03 Beta, Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.
- SANTANA, M. B. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de coesão em dois solos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 76 p. (Dissertação de Mestrado).
- SANTOS, H. L.; VASCONCELLOS, C. A. Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo. R. Bras. Ci. Solo, 11:97 – 100, 1987.
- SMITH, J. L.; HALVORSON, J. J.; PAPENDICK, R. I. Using multiple-variable indicator kriging for evaluating soil quality. Soil Sci. Am. J. 57:743 – 749, 1993.
- 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, 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 1, 2003. CD – ROM.
- STAT SOFT. Statistica for Windos [Eletronic manual index], v. 4.3. Tulsa, 1993. 2v.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar – Stolf. Revista STAB – açúcar, álcool e subprodutos, Piracicaba, v. 1. n. 3, ed. jan./fev., 1983.
- 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.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Tópicos em Ciência do Solo, v. 1, Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 2-54, 2000.
- 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, p. 319 – 344, 1980.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos estudos sobre a qualidade do solo têm sido desenvolvidos em todo o Mundo por vários autores (Singer & Ewing, 2000; Doran & Parkin, 1994; Larson & Pierce, 1994). Contudo, existem grandes dificuldades para comparação, principalmente, por não haver uma metodologia unificada para sua determinação. Uma proposta metodológica coerente deve necessariamente transformar a natureza complexa e específica de cada solo em atributos mensuráveis, que possam refletir o seu estado para funcionar, possibilitando avaliações sistemáticas independentes de seus diferentes ambientes ou múltiplos usos (Sojka & Upchurch, 1999; Wander & Drinkwater, 2000; Silva, 2004). Dentre as diversas proposições metodológicas para avaliação do índice de qualidade do solo, destaca-se aquela proposta por Karlen & Stott (1994). Segundo os autores o procedimento pode ser aplicado em diferentes ambientes e em diversas situações, o que foi confirmado por Hussain et al. (1999), Glover et al. (2000), Cher, (2001), Nortcliff, (2002), Souza et al. (2003). No entanto, para que esta metodologia se estabeleça como um fundamento prático a ser utilizado universalmente, deve possibilitar avaliações em diferentes escalas espaciais e temporais. Não obstante, os estudos de avaliação da qualidade do solo não consideram esta questão. Por tanto, Nortcliff (2002) sugere que os mesmos contemplem, também, a escala representativa do índice determinado, bem como o número ideal de amostras para sua representação.

Após aplicação da metodologia proposta por Karlen & Stott (1994), verificou-se que a mesma é factível e eficiente, podendo indicar a real qualidade do solo para as mais diversas condições. Contudo, a metodologia restringe o entendimento do IQS, quando estratifica a qualidade do solo em ruim para $IQS < 0,5$ ou ótima para $IQS > 0,5$. Para melhor interpretação do mesmo, propõe-se que esta classificação seja subdividida em três níveis, o que melhoraria a informação final.

Assim, sugere-se a seguinte graduação para o IQS:

Classificação	Valores de IQS (Karlen & Stott, 1994)
Ótima	$\geq 0,710$
Média	0,510 a 0,700
Ruim	$\leq 0,500$

LITERATURA CITADA

CHER, G. M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: **Defining soil quality for a sustainable environment**. Doran, J. W. et al. Madison, Wisconsin, USA, Soil Science Society of America (SSSA), 1994, p. 3 – 21, (Special publication, 35).

GLOVER, J.D.; REGANOLD, J.P. e ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture Ecosystems and Environment**. v. 80, n. 1 – 2, p. 29 – 45, aug. 2000.

HUSSAIN, I. et al. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. **Soil and Tillage Research**. v. 50, n. 3 – 4, p. 237 – 249, may, 1999.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J. W. et al. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, WI, Soil Science Society of America, 1994, p. 53 – 72, (Special Publication, 35).

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: Doran, J. W. et al. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, WI, Soil Science Society of America, 1994, p. 37 – 52, (Special Publication, 35).

NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 88, n. 2, p. 161 – 168, feb. 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 ...UFSM**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2004. CD – ROM.

SINGER, M.J.; EWING, S. Soil quality. In: SUMMER, M.E. **Handbook of soil science**. New York, CRC Press, Section G, p.271-298, 2000

SOJKA, R. E., UPCHURCH, D. R. Reservations regarding the soil quality concept. **Soil Science Society of America Journal**. v. 63, n. 5, p.1039 – 1054, sep./oct. 1999.

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 1, 2003. CD – ROM.

WANDER, M. M.; DRINKWATER, L. E. Fostering soil stewardship through soil quality assessment. **Applied Soil Ecology**. v. 15, n. 1, p. 61 – 73, aug. 2000.

ANEXOS

4.1 PERFIL RCM-1 - PERFIL DA MATA

DATA: 23.10.1984

CLASSIFICAÇÃO: Latossolo amarelo álico podzólico a moderado; textura argilosa; fase floresta subperenifólia; relevo plano.

LOCALIZAÇÃO: Mata da Prefeitura de Cruz das Almas, Bahia.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Topo plano de Chapada.

COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Floresta subperenifólia.

LITOLOGIA E CRONOLOGIA: Formação Barreiras Terciário.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos argilo-arenosos.

PEDREGOSIDADE: Ausente.

ROCHOSIDADE: Ausente.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta subperenifólia.

USO ATUAL: Cobertura florestal primária.

DESCRITO E COLETADO: Melo Filho, H.F.R. & Araújo Filho, J.O. SNLCS/EMBRAPA (Não publicado).

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

O/A 0-2cm; constituído por folhas em decomposição.

A₁ 0-7cm; bruno (10YR 5/3, seco); bruno amarelado escuro (10YR 4/4, seco triturado), bruno acinzentado muito-escuro (10YR 3,5/2, úmido); bruno-escuro (10 YR 4/3, úmido amassado); franco-argilo-arenoso; moderada média a grande granular e grãos simples; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.

A₂ 7-21cm; bruno amarelado (10YR 5/4 , seco e seco triturado); bruno amarelado-escuro (10 YR 4/4, úmido e úmido amassado); franco argilo-arenoso; fraca a moderada pequena e média granular; ligeiramente duro, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada (16-26cm) e clara.

AB₁ 21-38cm; bruno amarelado (10YR 5/4, seco) e bruno amarelado-escuro (10 YR 4/4 úmido); franco argilo-arenoso; fraca pequena e média blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso, transição plana e difusa.

AB₂ 38-56cm; bruno amarelado (10YR 5/4, seco) e bruno amarelado-escuro (10 YR 4/4 úmido); franco argilo-arenoso; fraca pequena e média blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso, transição plana e difusa.

BA 56-85cm; bruno amarelada (10YR 5/4, seco) e bruno amarelado escuro (10 YR 4/4, úmido); argilo-arenoso; fraca pequena e média em blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso; transição plana e gradual.

Bw₁ 85-130cm; bruno amarelado (10 YR 5/4, seco) e bruno amarelado escuro (10YR 4/4, úmido); argilo-arenoso; fraca pequena e média em blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso; transição plana e difusa.

Bw₂ 130-220cm+; bruno amarelado (10 YR 5/8, úmido); argila; fraca pequena e média em blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso.

RAÍZES: Muitas raízes finas e poucas médias no A_1 , comuns finas e médias no A_2 , poucas finas e médias no BA.

OBSERVAÇÕES:

* Poros comuns médios e poucos grandes e pequenos no A_1 ; poros comuns pequenos e médios e poucos grandes no A_2 ; poros comuns muito pequenos e pequenos, poucos médios, no AB_1 , AB_2 e BA; muitos poros muito pequenos e pequenos, e poucos médios no Bw_1 e Bw_2 .

* Solo úmido a partir de AB_1 .

REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS

PERFIL RCM-1 - Perfil da Mata
ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Horizonte		Frações da amostra total			Composição Granulométrica da Terra Fina (dispersão com NaOH calcon) %				Argila dispersa em água	Grau de flocculação	% Silte	Umidade (%)				
Símbolo	Profundidade cm	Calhaus > 200mm	Cascalho 20-2mm	Terra fina < 2mm	Areia Grossa 2-0,20mm	Areia fina 0,20-0,075 mm	Silte 0,075-0,002 mm	Argila <0,002 mm	%	%	% Argila	0,3 atm	15 atm	Dispon.		
O/A	0-2	0	tr	100	47	16	16	21	17	29	0,34					
A ₁	0-7	0	tr	100	52	20	7	21	17	19	0,33					
A ₂	7-21	0	1	99	56	17	5	22	19	14	0,23					
AB ₁	21-38	0	1	99	58	17	6	24	19	21	0,25					
AB ₂	38-56	0	1	99	47	17	6	30	26	13	0,20					
BA	56-85	0	1	99	39	17	6	38	32	16	0,16					
Bw ₁	85-130	0	1	99	40	15	7	38	35	8	0,18					
Bw ₂	130-220	0	tr	100	30	12	5	53	4	92	0,09					
Horizonte	pH (1,2,5)		Complexo Sortivo meq/100g								Valor V (Sat. de bases) %	100Al+++ / S+Al+++	Passimilável ppm			
	Água	KCL IN	Ca++	Mg++	K+	Na+	Valor S (soma)	Al+++	H+	Valor T (soma)						
O/A	5,4	4,7	8,0	2,6	0,74	0,21	11,6	0,5	6,9	19,0	61	4	2			
A ₁	4,4	3,7	1,5	0,3	0,14	0,06	2,0	0,5	3,9	6,4	31	20	<1			
A ₂	4,1	3,6	0,2	0,2	0,04	0,02	0,3	0,7	1,9	2,9	10	70	<1			
AB ₁	4,1	3,8	0,2	0,2	0,04	0,02	0,3	0,7	1,8	2,8	11	70	<1			
AB ₂	4,3	3,7	0,1	0,1	0,04	0,02	0,2	1,0	2,2	3,4	6	83	1			
BA	4,3	3,7	0,1	0,1	0,02	0,02	0,1	1,2	2,3	3,6	3	92	<1			
Bw ₁	4,3	3,7	0,1	0,1	0,01	0,02	0,1	1,2	1,7	3,0	3	92	<1			
Bw ₂	4,7	3,8	0,4	0,4	0,01	0,04	0,5	0,8	1,5	2,8	18	62	<1			
Horizonte	C (orgânico) %	N %	ATAQUE POR								SiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Equiv. CaCO ₃ %	100Na+ T
			H ₂ SO ₄ (1:1)				NaOH (0,8%)				Al ₂ O ₃	R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ Livre		
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	(Ki)	(Kr)			%			
O/A	2,18	0,37	6	8,7	8,6	1,9	0,77			1,72	1,51	7,08			1	
A ₁	1,46	0,15	10	8,6	8,3	2,0	0,82			1,72	1,50	6,66			1	
A ₂	0,49	0,06	8	10,1	9,5	2,5	0,95			1,81	1,55	5,97			1	
AB ₁	0,32	0,05	6	10,7	10,1	2,9	0,96			1,80	1,52	5,47			1	
AB ₂	0,59	0,08	7	12,3	12,3	3,0	1,04			1,70	1,47	5,51			1	
BA	0,27	0,06	5	14,5	14,4	3,5	1,11			1,71	1,48	6,45			1	
Bw ₁	0,24	0,05	5	14,8	14,9	3,7	1,09			1,69	1,46	6,32			1	
Bw ₂	0,19	0,05	4	20,7	21,4	5,5	1,14			1,64	1,41	6,10			1	