

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

**QUALIDADE DO SOLO EM DOIS SISTEMAS DE USO E
MANEJO NO AMBIENTE DOS TABULEIROS COSTEIROS DO
RECÔNCAVO BAIANO**

EDVANA CÁSSIA PINTO SILVEIRA

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

MARÇO DE 2007

**QUALIDADE DO SOLO EM DOIS SISTEMAS DE USO E
MANEJO NO AMBIENTE DOS TABULEIROS COSTEIROS DO
RECÔNCAVO BAIANO**

EDVANA CÁSSIA PINTO SILVEIRA

Engenheira Agrônoma
Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, 2003

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

Orientador: Prof. Dr. José Fernandes de Melo Filho

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2007

FICHA CATALOGRÁFICA

S587

Silveira, Edvana Cássia Pinto

Qualidade do solo em dois sistemas de uso e manejo no ambiente dos tabuleiros costeiros do Recôncavo Baiano./ Edvana Cássia Pinto Silveira – Cruz das Almas, BA, 2007.

89f.: il., tab., graf.

Orientador: José Fernandes de Melo Filho.

Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2007.

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

CDD 20.ed. 631.4

COMISSÃO EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Joelito de Oliveira Rezende
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da UFRB

Prof. Dr. Oldair Del'Arco Vinhas Costa
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da UFRB

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

Conferindo o Grau de Mestre em Ciências Agrárias em

DEDICO

À minha Família,

Essência da minha vida.

Ao meu marido,

O amor, a paciência e compreensão, os sacrifícios partilhados, mas,
sobretudo minha fonte de inspiração e motivação.

À família Silveira,

O carinho e o estímulo constante para o meu aprimoramento.

AGRADECIMENTOS

A Deus, presença constante em minha vida, dando-me força através da sua graça e misericórdia para enfrentar as dificuldades;

Aos meus pais, Ednaldo e Vanda (*In Memoriam*), pelo exemplo de vida e por me ensinarem o valor do trabalho, da persistência, da honestidade e do caminho da vitória;

À minha sogra (Dasa) e meu sogro (Dito), pelo amor, confiança e estímulo constante;

Ao Prof. Dr. José Fernandes de Melo Filho, pela orientação, atenção, confiança, entusiasmo, motivação e, sobretudo, pela amizade;

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e ao Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, pela oportunidade de realização do curso;

À Danco Comércio e Indústria de Fumos LTDA, através dos Engenheiros Agrônomos Carlos Daniel Seifert e Carlos Eduardo Santana, pelo apoio para o desenvolvimento deste trabalho junto à empresa;

Ao meu tio Ângelo Mário Daltro Pinto, pela confiança e apoio;

À Secretaria de Agricultura, Abastecimento e Meio Ambiente de Cruz das Almas, por ter permitido o desenvolvimento deste trabalho enquanto exercia as minhas atividades no Projeto Flores da Bahia.

Ao Prof. Dr. Washington Luiz Cotrin Duete pela compreensão e disposição nos momentos de dúvida;

Ao Prof. Dr. Joelito de Oliveira Rezende pela oportunidade de desfrutar de seus conhecimentos e amizade;

Aos graduandos Augusto César, Fernanda e Elaine, pela ajuda nos trabalhos de campo e de laboratório;

Aos funcionários dos Laboratórios de física e química do solo Veronice, Ailton e José Bastos pela ajuda e amizade;

Aos colegas de curso que fizeram parte desta história: Rosane, Marly, Luzia, Lícia, Dreid, Enoque, Luciano, Roginaldo, pela alegre convivência e amizade;

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
INTRODUÇÃO	01
LITERATURA CITADA	24
 CAPÍTULO 1	
PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM PARA AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO	
Resumo	34
Abstract	35
Introdução	36
Material e métodos	38
Resultados e discussão	46
Conclusão	53
Literatura citada	54
 CAPÍTULO 2	
ÍNDICE DE QUALIDADE PARA UM ARGISSOLO AMARELO DISTROCOESO TÍPICO CULTIVADO COM O FUMO	
Resumo	60
Abstract	61
Introdução	62
Material e métodos	64
Resultados e discussão	70
Conclusão	77
Literatura citada	78
CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
ANEXO	83

QUALIDADE DO SOLO EM DOIS SISTEMAS DE USO E MANEJO NO AMBIENTE DOS TABULEIROS COSTEIROS DO RECÔNCAVO BAIANO

Autora: Edvana Cássia Pinto Silveira

Orientador: Dr. José Fernandes de Melo Filho

RESUMO: O solo é um recurso natural fundamental para a vida. Funciona como meio de crescimento de plantas, regulador do ciclo da água, reciclador de materiais, habitat para macro e microorganismos e meio para as obras de engenharia. Sua capacidade de funcionar adequadamente no desempenho dessas funções é referida como “qualidade do solo”. É um conceito antigo, porém ainda muito discutido e não aceito universalmente, devido à sua natureza dinâmica e complexa. Neste sentido, muitas metodologias têm sido propostas para o monitoramento de sua qualidade. Dentre estas, destacam-se as que consideram a necessidade de um conjunto numeroso de atributos do solo para a obtenção de um índice confiável de qualidade. Em oposição, existem aquelas que consideram que um número reduzido ou isolado de atributos-chaves possa expressar eficientemente a qualidade do solo para um uso específico. A aplicação delas no ambiente tropical ainda é bastante limitada, sendo necessárias, então, avaliações que possam validar sua utilidade nestas condições. Os objetivos desta pesquisa foram identificar a melhor profundidade de amostragem e o efeito do sistema de uso e manejo na determinação do índice de qualidade do solo. O estudo foi desenvolvido no Recôncavo Baiano em uma reserva de mata natural e em uma área cultivada com fumo (*Nicotiana tabacum L.*). O modelo de avaliação do índice de qualidade do solo foi o proposto por Karlen & Stott (1994). Verificou-se que alguns indicadores de qualidade do solo foram alterados pelo uso agrícola, assim como a profundidade de amostragem depende da condição de uso.

Palavras-chave: Índice de qualidade, profundidade de amostragem, solos coesos.

SOIL QUALITY UNDER TWO USE AND MANAGEMENT SYSTEMS IN THE COASTAL TABLE LAND ECOSYSTEM OF RECÔNCAVO BAIANO REGION.

Author: Edvana Cássia Pinto Silveira

Adviser: DSc. José Fernandes de Melo Filho

ABSTRACT: The soil is fundamental to the well-being and productivity of agricultural and natural ecosystems. It functions as a medium for plant growth and animal life, regulates water and solute flow, filtering, buffering, degrading organic and inorganic material, including byproducts, sustaining biological activity, diversity and providing the human habitation. The ability of the soil to provide all these functions is defined as soil quality. This is an old concept, however, it doesn't accept universally for its complex and dynamic nature. Thus, the need to develop methodologies for characterizing soil quality is gaining increasing global recognition. The most accepted are that require a numerous quantity of physical, chemical and biological indicators to obtain a trust soil quality index, in contrast, there are some methodologies that consider a reduce number of indicators to evaluate the index. The use of those in a tropical environment is so limited, so, it's necessary evaluations to test them in these conditions. The purposes of this paper are to determine the sampling depth and to evaluate the effects of the use and management systems on the soil quality index. The study was developed in Recôncavo Baiano region, Brazil, at the natural reserve of the Atlantic Forest and in a tobacco (*Nicotiana tabacum L.*) crop area. It was used the soil quality index model proposed by Karlen & Stott (1994). The results showed that some soil quality indicators were modified with the land use and the sampling strategy depend on the soil uses.

Key words: Soil quality index, sampling depth, cohesive soil.

INTRODUÇÃO

QUALIDADE DO SOLO: conceitos, histórico e evolução.

O solo é um componente importante da biosfera terrestre, não apenas para produção de alimentos e fibras, mas também para a manutenção da qualidade ambiental e da própria vida. Funciona como meio de crescimento de plantas, regulador dos suprimentos de água, reciclador dos materiais in natura e dos produtos de descarte, habitat para os organismos do solo e meio para as obras de engenharia humana (BRADY & WEIL, 2002). Sua capacidade de funcionar adequadamente no desempenho dessas funções é referida como qualidade do solo (KARLEN et al., 1997).

Com base nos relatos de Karlen et al. (2003), Warentin & Fletcher (1977) foram os primeiros autores que sugeriram desenvolver um conceito de qualidade do solo em virtude das múltiplas funções que esse sistema podia prover. No entanto, outros autores datam a preocupação com a qualidade do solo, desde o Império Romano, quando já existiam as práticas de conservação do solo para manutenção da produtividade (JENNY, 1941), conforme pode ser verificado no trabalho de Huddleston (1984), quando registrou a preocupação existente nos Estados Unidos, desde o ano de 1930, em relação à adoção de novas práticas de manejo para maximizar a produção e minimizar a erosão e outros efeitos ambientais adversos.

Por isso, em função desse conceito inicial de que manejar o solo era apenas controlar a erosão e minimizar o efeito das perdas de solo na produtividade, a qualidade do solo não foi discutida por quase uma década (PIERCE et al., 1984). Apenas no início do ano de 1970, nos EUA, em consequência dos prejuízos econômicos, sociais e ambientais, é que surgiram discussões relevantes sobre a avaliação e a sustentabilidade dos sistemas

agrícolas (LARSON & PIERCE, 1994). Então, em meados do ano de 1980, o Comitê de Suporte a Agricultura do Senado Canadense preparou um relatório sobre degradação de solo e reformulou o conceito de qualidade do solo (GREGORICH, 1996).

Partindo deste princípio, com base nessas discussões, Larson & Pierce (1991) definiram qualidade do solo como a capacidade de funcionar dentro dos limites de um ecossistema e interagir positivamente com o mesmo. Eles também propuseram um modelo quantitativo para avaliar a qualidade do solo e sugeriram sua aplicação para determinar a resposta do solo a diversas práticas de manejo. Assim, qualidade do solo começou a ser interpretada como um meio sensível e dinâmico para registrar as condições do solo, suas respostas ao manejo ou sua resistência ao estresse imposto por forças naturais ou uso pelo homem (ARSHAD & COEN, 1992; HABERERN, 1992). Portanto, qualidade do solo não está limitada apenas à produtividade agrícola, mas, também a qualidade ambiental, a saúde humana e animal, a segurança e qualidade dos alimentos (HABERERN, 1992).

O conceito de qualidade do solo voltou a ser discutido quando o Serviço de Conservação do Solo dos EUA (USDA) foi reorganizado e criou-se o Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS). O NRCS reconheceu que após 100 anos de experiência com o Programa Nacional Cooperativo para preservação dos solos, eles tinham a localização geográfica de mais de 18.000 solos, além de uma extensiva quantidade de dados das propriedades básicas dos solos, relevo, localização e interpretação para seu uso e manejo. Esse banco de dados foi considerado um valioso recurso para o uso sustentável da terra (KARLEN et al., 2003).

O NRCS, através do Inventário de Recursos Naturais (NRI), também desenvolveu uma amostra estatística baseada no monitoramento e avaliação das mudanças na qualidade do solo no tempo em escala regional e nacional. A partir dessa parceria com os Distritos Locais Americanos de Conservação do Solo, a NRCS também obteve um amplo sistema técnico de informação e posicionou-se para trabalhar com proprietários da iniciativa privada a fim de promover a manutenção e a melhoria dos solos daquele país (KARLEN et al., 2003).

A Sociedade Americana da Ciência do Solo (SSSA) contribuiu para desenvolver o conceito de qualidade do solo quando o seu presidente nomeou um comitê com 14 pessoas em 1994 e encarregou-os de definir cuidadosamente um

conceito e identificar os atributos do solo e das plantas que seriam utilizados para descrever e avaliar a sua qualidade. Então criou-se uma definição simples para qualidade do solo: “a capacidade para funcionar”. Em uma versão mais ampla: “a capacidade de um tipo específico de solo funcionar nos limites de um ecossistema natural ou manejado, mantendo a produtividade animal e vegetal, a qualidade do ar e da água, promovendo a saúde humana e condições para habitação (KARLEN et al., 1997)”. A SSSA continuou a participar de grupos de trabalhos envolvendo qualidade do solo, juntamente com órgãos ligados a questões ambientais, cientista, instituições governamentais, privadas, filantrópicas e organizações internacionais (KARLEN et al., 2003). Após várias pesquisas com qualidade do solo e sustentabilidade, finalmente foram desenvolvidos vários métodos para avaliar a qualidade do solo (DORAN et al., 1996; KARLEN et al., 1998; HUSSAIN et al., 1999; JAENICKE & LENGNICK, 1999; ANDREWS & CARROLL, 2001; ANDREWS et al., 2002a).

Em meados da década de 1990, do século passado, Romig et al. (1995) desenvolveram uma planilha de avaliação da qualidade do solo para as condições do Estado de Wisconsin - USA, que posteriormente foi adaptado para ser usado em outros Estados. Esta ferramenta foi desenvolvida com o propósito de fornecer um método qualitativo próprio para monitorar práticas de manejo. De acordo com Karlen et al. (2001), as razões de Romig et al., (1995) para desenvolver a planilha foram as seguintes: a conscientização a respeito desse recurso natural e o incentivo dos proprietários de terras e lavradores para conhecer as condições subsuperficiais do solo, visando melhorias em suas práticas de manejo.

O primeiro Kit para avaliação da qualidade do solo foi desenvolvido também neste período e fornecia indicadores semi-quantitativos para profundidades de 0,0 a 7,6 cm (DORAN & PARKIN, 1994). Para testá-lo foram avaliadas a densidade do solo, taxa de infiltração, capacidade de retenção de água, condutividade elétrica do extrato de saturação, pH, nitrato e respiração microbiana em diversos locais (LIEBIG et al., 1996).

Internacionalmente, existem outros kits de avaliação da qualidade do solo sendo desenvolvidos para ajudar os agricultores na tomada de decisão para adoção de práticas de manejo. Um exemplo é o protocolo de Avaliação Visual do Solo criado para as condições de Nova Zelândia (SHEPHERD, 2000). Neste caso são consideradas características relacionadas ao uso da terra, tipo de solo,

textura, umidade, clima local, estrutura, porosidade, cor do solo, presença e número de minhocas, tipo de lavoura e susceptibilidade a erosão eólica e hídrica. Para as plantas: grau e uniformidade de emergência de plântulas, altura na maturidade, tamanho e desenvolvimento do sistema radicular, quantidade e qualidade de produção, ocorrência de doenças radiculares, infestação de ervas daninhas, quantidade do reservatório superficial e custos de produção.

As pesquisas mais relevantes sobre qualidade do solo estão relacionadas à seleção e avaliação de indicadores de qualidade. Para tanto, foram desenvolvidos diversos estudos para avaliar a precisão, sensibilidade e aplicabilidade de várias propriedades do solo como indicadores, tanto com amostras de um único ponto como com amostras retiradas de vários pontos de uma mesma área (KARLEN et al., 1998; BEARE et al., 1999; BREJDA et al., 2000a,b,c; ELMHOLT et al., 2000a; ISLAM e WEIL, 2000).

Muitos estudos focavam um ou mais indicadores que respondiam a diversos tratamentos ou manejos de solos. Embora o indicador isolado seja um componente crítico para a avaliação da qualidade do solo os estudos não cessaram e alguns pesquisadores continuaram desenvolvendo estudos para medir a qualidade do solo com um único indicador (WARKENTIN & FLETCHER, 1977), mesmo quando o princípio dizia que a qualidade do solo deveria ser medida através de atributos e interações de múltiplos indicadores físicos, químicos e biológicos (KARLEN et al., 2003).

Durante um dos primeiros simpósios de qualidade do solo nos Estados Unidos, discutiram-se amplamente seu uso e aplicação. Foi relatada a importância desta ferramenta para disponibilidade de dados para medida de qualidade, e os indicadores potenciais para cada função de pedotransferência: (1) capacidade de adsorção de cátions, (2) matéria orgânica, (3) densidade do solo, (4) retenção de água, (5) porosidade, (6) condutividade hidráulica, (7) condutividade hidráulica do solo saturado, (8) produtividade e (9) profundidade do sistema radicular (LARSON & PIERCE, 1991; LARSON & PIERCE, 1994).

A complexidade dos solos, a variabilidade temporal e espacial e os efeitos dos fatores externos, como o clima, nos índices de qualidade do solo, foram reconhecidos, em uma conferência na Noruega, no final da década de 1990, como os maiores desafios a serem superados nos estudos com qualidade do solo (BOUMA, 2002; ELMHORLT et al., 200b; KARLEN & ANDREWS, 2001). A

conclusão geral entre os participantes, foi a necessidade de estudos interdisciplinares para entender melhor a qualidade do solo, e como as suas propriedades e os processos interagem com o ecossistema. Esta foi uma iniciativa fundamental para superar a visão das pesquisas iniciais com qualidade do solo, que até então, enfatizavam mais as propriedades e processos de forma individualizada, como a desnitrificação, potencial redox, matéria orgânica, presença de minhocas, processos bióticos e abióticos e sistemas de plantio.

QUALIDADE DA TERRA

Quando se refere a terra, engloba-se a atmosfera, a superfície e sub-superfície terrestre, água, plantas, animais, pessoas e suas interações (FAO 1976,1995,1997). Solo é uma parte da terra (BRINKMAN, 1997) e qualidade do solo está relacionada a qualidade da terra, definida como um atributo complexo da terra que se comporta de forma distinta em suas funções para um uso específico (FAO 1976, 1995; SOMBROCK, 1997). Qualidade do solo é mais específica do que qualidade da terra, embora, seja dada a mesma ênfase para sua utilização (CARTER et al., 1997).

Segundo Sombrock (1997) a avaliação da qualidade da terra não deve ser igual a avaliação da qualidade do solo. Para qualidade da terra não se aplica valores absolutos, os valores são estimados por suas funções de uso, sendo necessários indicadores diferentes para monitorar as mudanças em cada componente principal da terra, com diversos dados e informações. Indicadores isolados tanto para qualidade do solo quanto para qualidade da terra devem ser descartados até que os fatores relacionados ao sistema, como um todo, sejam claramente entendidos (BRINKMAN, 1997).

POR QUE QUALIDADE DO SOLO?

A história tem evidenciado que o uso intensivo e irracional do solo pode resultar na degradação desse recurso, com drásticas conseqüências para a sociedade. Torna-se vital, portanto, concentrar esforços na gestão desse recurso natural para o seu uso racional, eficiente e produtivo, de modo a satisfazer as

necessidades das atuais e futuras gerações (PARR et al., 1992; DORAN et al., 1996).

Sabe-se que os recursos da terra no mundo são finitos, frágeis e não renováveis. Apenas 22% do total de área cultivável no globo estão adequados para o cultivo e, atualmente, apenas 3% têm elevada capacidade produtiva. Sabe-se também, que a degradação do solo é a força isolada mais destrutiva já vista em todo o mundo (PARR et al., 1992; LAL, 1995). Portanto, o conceito de qualidade do solo surge como alternativa fundamental para o adequado funcionamento do ecossistema (COOK & HENDERSHOT, 1996).

QUALIDADE DO SOLO / QUALIDADE DO AR E ÁGUA

A avaliação da qualidade do solo requer uma definição de “solo limpo” (SIMS et al., 1997). Neste contexto, um solo de boa qualidade é definido como aquele “sem dano causado pelo homem, plantas ou animais; sem efeito natural adverso dos ciclos ou funções; e com ausência de contaminantes” (MOEN, 1988). A concepção de qualidade do ar e água é facilmente formulada, no entanto no que se refere a qualidade do solo, determinar critérios é bastante complicado, haja vista sua variabilidade e multiplicidade de funções (SMITH et al., 1993).

Conforme Haberern (1992), a década de 1990 foi o período dedicado ao estudo da qualidade do solo, uma vez que tinham sido destinadas duas décadas para o estudo de qualidade da água e do ar. Os critérios para determinação da qualidade do solo foram baseados na concentração máxima permitida de substâncias prejudiciais a saúde humana, as quais foram especificadas e regulamentadas de acordo com o uso público do solo, sendo que qualquer mudança na qualidade seria monitorada para proteger a saúde humana (SINGER & EWING, 2000).

No Brasil, os critérios de qualidade do solo ainda não foram estabelecidos ou regulamentados. No entanto, nos Estados Unidos foram criadas regulamentações em forma de leis que controlam o uso indiscriminado de contaminantes, embora os critérios estabelecidos para a avaliação da qualidade muitas vezes sejam contraditórios e inconsistentes até mesmo com o atual método de avaliação de risco. Assim, naquele país, através de uma regulamentação federal, foi concebida uma lista com várias substâncias

prejudiciais e níveis aceitáveis de contaminantes onde as Agências de Proteção do Meio Ambiente (EPA) ficaram responsáveis pelo monitoramento e autuação dos infratores (SINGER & EWING, 2000).

QUALIDADE E “SAÚDE DO SOLO”

A qualidade do solo refere-se à capacidade deste em sustentar a produtividade biológica dentro das fronteiras do ecossistema, mantendo o equilíbrio ambiental e promovendo a saúde de plantas e animais e do próprio ser humano (DORAN et al., 1996; SPOSITO & ZABEL, 2003).

O termo “saúde do solo”, usado como sinônimo de qualidade do solo é preferido por alguns, por retratar o solo como um sistema dinâmico, cujas funções são medidas por uma diversidade de organismos que requerem práticas próprias de manejo e conservação (WARKENTIN, 1995; SINGER & WARKENTIN, 1996).

A “saúde do solo” foi definida para integrar o conceito de agricultura sustentável (REGANOLD et al., 1990) e deve ser avaliada como um estado do solo em um tempo específico, considerando a dinâmica de suas propriedades que mudam em curto prazo de tempo. No entanto, qualidade do solo considera-se o uso para um determinado fim, numa escala em longo prazo, o que equivale a qualidade intrínseca e estática do solo (CARTER et al., 1997).

Para avaliar a “saúde do solo” deve-se comparar a condição atual com valores pré-estabelecidos que reflitam a qualidade global do solo (BOEHN & ANDERSON, 1997; SEYBOLD et al., 1998).

Granatstein & Bezdicek (1992) consideram que o modelo referencial de solo em sistemas agrícolas deve ser a condição natural, onde o mesmo expressaria seu máximo desempenho agrônômico, ambiental e econômico. Seybold et al. (1998) consideraram três condições para avaliação da saúde do solo: em condições naturais, com manejo intensivo e em condições alteradas.

De acordo com Singer & Ewing (2000) em condições naturais torna-se difícil a determinação, haja vista que os critérios envolvem alta produtividade e baixo impacto ambiental. Por tanto, usando-se o manejo intensivo e alterado de forma saudável, torna-se mais fácil estabelecer um valor referencial de saúde, em virtude da maior perda de solo de superfície e do decréscimo de matéria orgânica, o que evidencia a insustentabilidade da agricultura intensiva.

Pesquisas desenvolvidas no Canadá (BEKE et al., 1994; BIEDERBECK et al., 1996), Inglaterra (JOHNSTON et al., 1986), na Alemanha (MERKER, 1956), em Nova Zelândia (MURATA et al., 1995) e nos Estados Unidos (ODELL et al., 1984) utilizaram valores limites de propriedades do solo para monitorar e manejar de forma adequada os solos estudados. Nestes estudos observaram-se que as práticas culturais mudam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

No Brasil, Tormena et al. (2004) também avaliaram a influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. Eles observaram que os indicadores de qualidade física do solo são alterados de forma diferenciada pelos sistemas de uso e manejo e que mesmo sistemas conservacionistas, como o plantio direto, podem apresentar condições potencialmente restritivas para o crescimento das culturas. Portanto, evidencia-se a importância de pesquisas que possibilitem intervenções pontuais, para o monitoramento das propriedades do solo e manutenção de sua qualidade, integrando assim, o conceito de agricultura sustentável.

DEFINIÇÕES PARA QUALIDADE DO SOLO

O conceito de qualidade do solo é um conceito amplo que vem sendo discutido ao longo dos anos, enfatizando a qualidade ambiental, segurança e a qualidade dos alimentos. Dentre eles é possível citar os de maior relevância.

A Sociedade Americana da Ciência do solo (SSSA, 1987) definiu qualidade do solo como a “capacidade de um tipo específico de solo funcionar nos limites de um ecossistema natural ou manejado, sustentando a produtividade vegetal e animal, promovendo a qualidade da água, do ar, a saúde humana e condições de habitação” (KARLEN et al., 1997). Para fundamentar esta definição é preciso avaliar cinco funções: (1) promover a atividade biológica, diversidade e produtividade; (2) regular e particionar o fluxo de água e solutos; (3) filtragem, tamponamento, degradação, imobilização e desintoxicação de materiais orgânicos e inorgânicos, incluindo resíduos industriais e municipais; (5) manutenção da estrutura socioeconômica e proteção ao tesouro arqueológico, vinculado a habitação humana.

Larson & Pierce (1991) definiram qualidade do solo como “a capacidade do mesmo funcionar nos limites do ecossistema e interagir positivamente com o

ambiente externo.” Para estes autores três funções do solo são consideradas essenciais: promover o crescimento de plantas, regular e particionar o fluxo de água no ambiente e servir de filtro ambiental.

De acordo com Arshad & Coen (1992) qualidade do solo é a “capacidade do solo de receber, armazenar e reciclar água, minerais e energia para produção de culturas em níveis elevados de produtividade preservando a saúde ambiental”. Esses autores discutem a terra, o clima e a hidrologia como fatores que contribuem para prover a qualidade do solo e sugerem incluir fatores sócio-econômicos, como o uso e o manejo da terra, na análise de qualidade do solo.

No mesmo ano, Karlen et al. (1992) definiram qualidade do solo como a “habilidade do solo em servir como meio natural para o crescimento de plantas para sustentar a vida humana e animal”. Logo depois, Doran & Parkin (1994) definiram como a “capacidade do solo de funcionar nos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde humana e animal”. Para Gregorich et al. (1994) a qualidade do solo nada mais é que a “habilidade de funcionar bem para cada função relativa a um uso específico” ou o grau de aptidão do solo para um uso específico.

As funções do solo mais relatadas na literatura de ciência do solo são: (1) manutenção da produtividade, servir como meio de crescimento para plantas, suportar a produtividade das culturas, promover a saúde humana e animal, (2) regular e particionar o fluxo de água no ambiente, (3) filtro ambiental, manter a qualidade ambiental, e (4) ciclagem de nutrientes, água, energia e outros elementos da biosfera terrestre (ANDERSON & GREGORICH, 1984; LARSON & PIERCE, 1991; ARSHAD & COEN, 1992; KARLEN et al., 1992; DORAN & PARKIN, 1994; SNAKIN et al., 1996; KARLEN et al., 1997).

AVALIANDO A QUALIDADE DO SOLO

A avaliação da qualidade do solo pode ser feita sob duas perspectivas distintas: A primeira se refere (i) a uma característica inerente ao solo, governada por seus processos de formação. Portanto, cada solo tem uma habilidade natural para funcionar, definida por um conjunto de valores que refletem o seu máximo potencial para realizar uma função específica. A segunda diz respeito (ii) a uma condição de “saúde do solo”. Se um determinado solo está funcionando de acordo

com o seu máximo potencial para um determinado uso, ele terá excelente qualidade, se não, o seu potencial pode ter sido afetado pelo seu uso ou manejo, ou o solo naturalmente possui baixa qualidade (KARLEN et al., 1997).

De acordo com Carter et al. (1997) qualquer ferramenta para avaliar a qualidade do solo deve incluir (1) a descrição de cada função em que a qualidade estivesse relacionada, (2) a seleção de características ou propriedades do solo que influenciassem em sua capacidade de prover cada função, (3) a escolha de indicadores mensuráveis, e (4) o uso de métodos que fornecessem inferências precisas dos indicadores mensuráveis.

Dependendo da função para a qual uma avaliação está sendo feita, muitos parâmetros podem ser utilizados e o processo de avaliação deve: (i) de alguma maneira influenciar a função para a qual está sendo avaliada, (ii) ser mensurável e comparada a padrões definidos e (iii) sensível o bastante para mostrar diferenças em escala espacial ou temporal (KARLEN et al., 1997).

Outro aspecto importante é que a avaliação da qualidade do solo tem dimensão espacial e temporal e pode ser realizada em diferentes escalas (Figura 1), utilizadas para facilitar a compreensão, o monitoramento e a transição experimental das pesquisas sobre o tema. O intervalo entre medições para que o indicador apresente mudanças, depende do tempo necessário para que dado manejo do solo produza alterações quantificáveis e sua frequência no espaço deve considerar as variações espaciais provocadas pelo mesmo, que estão relacionadas às variações do material parental, do clima, do relevo, dos organismos e dos processos de formação do solo e/ou aos efeitos de práticas de manejo adotadas para cada uso agrícola (MCGRAW, 1994; KARLEN et al. 1997).

Para expressar matematicamente a qualidade do solo (QS), Larson & Pierce (1991) apresentam QS como função de atributos mensuráveis do solo (q_i), expressando a variação temporal da qualidade no tempo como dQ/dt e propõem o estabelecimento de pedofunções para avaliar a qualidade do solo, com base em um conjunto de dados mínimos fixados (DMF) de propriedades e/ou atributos do solo, utilizando a seguinte função:

$$QS = f(q_1 \dots q_n) \quad (1)$$

Esses dados fixados podem ser usados para avaliar as funções críticas do solo, associadas com o objetivo da utilização. Assim, é possível desenvolver uma avaliação significativa da qualidade do solo, combinando processos biológicos e propriedades químicas com medidas de indicadores físicos, em escalas de unidades totalmente diferentes (ARSHAD & MARTIN, 2002).

Várias estratégias de avaliação da qualidade do solo têm sido propostas. Dentre elas, destacam-se as que consideram a necessidade de um conjunto numeroso de atributos químicos, físicos e biológicos do solo para a obtenção de um índice confiável de qualidade (LARSON & PIERCE, 1991; DORAN & PARKIN, 1994). Diferente dessas, existem outras que consideram que um número reduzido ou isolado de atributos-chaves, como a matéria orgânica do solo (MOS) ou a curva de retenção de água, possa expressar eficientemente a qualidade do solo para um uso específico (GREGORICH et al., 1994; SEYBOLD et al., 1998; DEXTER, 2004a; CONCEIÇÃO et al., 2005). No entanto, o solo é caracterizado por propriedades e atributos funcionalmente relacionados, assim, a avaliação conjunta dessas propriedades e/ou atributos do solo parece ser a forma mais adequada de medir e monitorar sua qualidade (KARLEN et al., 1997).

Para Stenberg (1999) nenhum indicador individualmente consegue descrever e quantificar todos os aspectos da qualidade do solo. Nem mesmo uma única função do solo é suficiente, já que deve haver uma relação entre todos os seus atributos. Assim um número mínimo de indicadores deve ser selecionado.

Mas, ainda não há um conjunto preciso de indicadores que possa ser utilizado universalmente para caracterizar a qualidade do solo, devido à complexidade do sistema solo, o uso de diversos manejos e condições climáticas adversas. Por isso, existem trabalhos de pesquisas com enfoque na seleção de indicadores, objetivando avaliar suas respostas aos diversos tratamentos, em ecossistemas variados (BOUMA, 2002).

MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO

Atribuir de forma segura a qualidade a um solo requer um método sistemático na medição e interpretação das suas propriedades, que sirvam adequadamente como indicadores de qualidade (GRANATSTEIN & BEZDICEK, 1992).

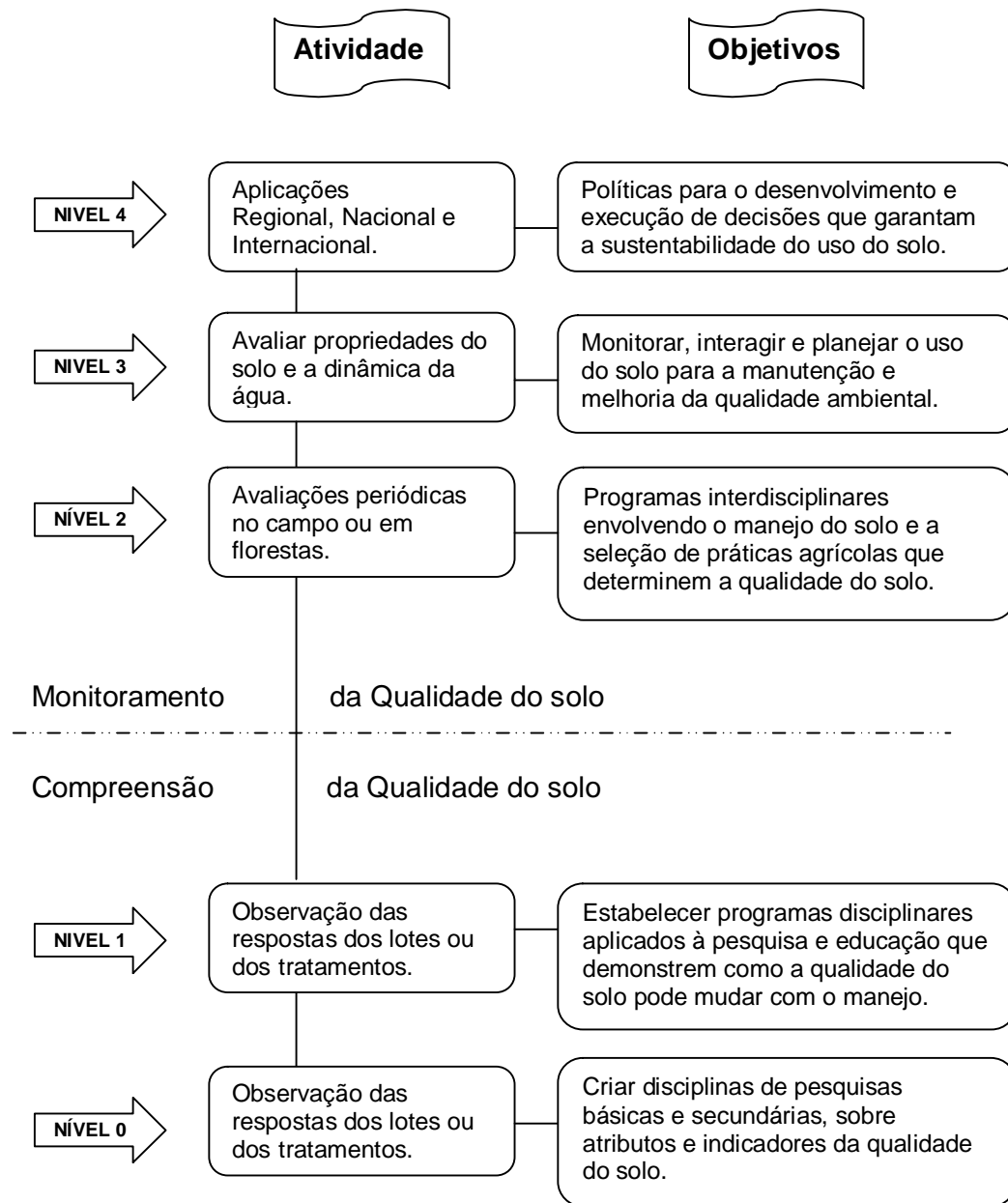


Figura 1. Múltiplas escalas para a avaliação da qualidade do solo. Modificado de Karlen et al. (1997).

Dois sistemas foram desenvolvidos para avaliar os indicadores de qualidade do solo: (1) os sistemas qualitativos, que não associam os parâmetros de avaliação em escala numérica, portanto, apresentam um elemento subjetivo e para minimizar variações nos resultados, devem ser aplicados pelo mesmo indivíduo todo o tempo e (2) os sistemas quantitativos, onde os parâmetros de avaliação são associados a uma escala numérica, resultando em um índice numérico, podendo ser aditivo, multiplicativo ou de múltiplas funções.

Os indicadores avaliados com métodos quantitativos apresentam valores numéricos precisos, assim, mesmo sendo aplicados por diferentes pessoas podem reproduzir resultados bastante similares. Embora estes métodos consumam mais tempo e algumas vezes sejam mais complexos, ainda são os mais indicados, principalmente quando se quer comparar dados ao longo do tempo (USDA, 2001).

Diante da necessidade de conscientização dos produtores para a preservação do recurso natural solo, mais a melhoria das práticas de manejo Romig et al. (1995) desenvolveram um método qualitativo de avaliação da qualidade do solo, aplicável as condições do Estado de Wisconsin – USA. Segundo Karlen et al. (2001) trata-se de um método simples, de baixo custo, confiável e de boa aplicabilidade, no qual para se obter um índice de qualidade é necessário quantificar os seguintes indicadores: declividade, presença de minhocas, perdas de solo por erosão, capacidade de armazenamento de água e condições de plantio e crescimento de plantas.

Uma outra ferramenta qualitativa é o sistema de capacidade de uso da terra estruturado pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, o qual foi adaptado para as condições do Brasil por Lepsch (1983). O sistema visa identificar as limitações permanentes e possibilidades de uso das terras, através da sistematização das informações de uma determinada área para definir a máxima capacidade de uso, sem que esta ocorra risco de degradação do solo, especialmente no que diz respeito à erosão acelerada (LEPSCH, 1983; CAVALIERI, 1998). As classes de capacidade de uso são caracterizadas apenas pelas condições locais do solo, clima e relevo e dos resultados de suas interações, sem considerar a localização ou as características econômicas da terra (LEPSCH, 1983; BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). A classificação é constituída de quatro níveis hierárquicos estruturados em quatro categorias:

grupos, classes, subclasses e unidades. Quanto maior o nível da categoria, a classificação indicará possibilidade de uso mais intensivo, ou então de menor restrição para a área. As áreas que não possibilitam o desenvolvimento de vegetação, são denominadas tipo de terreno e, não são classificadas em nenhuma das oito classes de capacidade de uso, enquadrando-se nesta classe os afloramentos de rochas, areias de praias e áreas escavadas pelo homem (LEPSCH, 1983). Esta metodologia, atualmente, tem sido utilizada para verificar a adequação entre o uso atual e a capacidade de uso da terra (DONZELLI et al., 1992; CAVALIERI, 1998; RODRIGUES et al., 2001).

Como evolução do sistema de capacidade de uso, foi desenvolvido por Ramalho Filho et al. (1978) e adaptado as condições brasileiras, o Sistema de Aptidão Agrícola, que tem a finalidade de determinar a aptidão agrícola das terras. Neste sistema a aptidão agrícola das terras é avaliada para alternativas de utilização tais como lavouras (anuais e perenes), pastagem, silvicultura e preservação da flora e fauna. Para diagnosticar o comportamento das terras diante da adoção de práticas agrícolas, são considerados três níveis de manejo: primitivo, pouco desenvolvido e desenvolvido, indicados pelas letras A, B, e C, respectivamente, e definidos em função do investimento de capital na produção agrícola. É recomendado para locais onde se necessita de um planejamento agrícola regional e trabalhos de zoneamento agrícola, podendo ser facilmente aplicado para locais que possuam estudos de solos em níveis generalizados de reconhecimento ou exploratório (PRADO, 1996).

Uma outra metodologia qualitativa utilizada é a classificação de terras para fins de irrigação adotada pelo "US Bureau of Reclamation (USBR)". Esta classificação técnica é feita, primordialmente, para a obtenção de informações necessárias à delimitação de terras em áreas de classes aptas para a irrigação, eliminando as áreas inaptas, nas condições econômicas prevalentes. Necessita da análise e avaliação de suas características físicas e químicas, incluindo as características do solo e os aspectos topográficos e de drenagem, além de um grande volume de dados adicionais relativos à agronomia, economia e engenharia, exigindo-se, para o seu uso, levantamentos pedológicos semi-detalhados ou, preferencialmente, detalhados, principalmente se for área de várzea. Portanto, este sistema combina avaliações sócio-econômicas da terra com variações de clima e solo para determinar a capacidade produtiva do solo

quando irrigado, justificando os investimentos necessários para condução da água e reconhecendo a importância da irrigação para agricultura e as qualidades especiais do solo para esta função (PRADO, 1996; SINGER & EWING, 2000).

Dentre os sistemas quantitativos têm-se a taxa histórica do índice (SIR), que relaciona a produtividade da terra com 32 propriedades, envolvendo o solo, o clima e a vegetação. No entanto, devido a difícil aplicabilidade com todos os indicadores, normalmente utiliza-se apenas nove dos propostos: (A) morfologia do solo, (B) textura superficial, (C) declive, (D) classe de drenagem, (E) sodificação, (F) acidez, (G) erosão, (H) microrelevo, e (I) fertilidade; todos taxados de 1 a 100%, convertidos para valores decimais e multiplicados entre si (STORIE, 1932). Conforme a seguinte equação:

$$SIR = (A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H \times I) \times 100 \quad (2)$$

Os valores para cada indicador derivaram de experiências de mapeamento histórico e avaliação do solo na Califórnia, e de experimentos conduzidos pela Estação Experimental Agrícola da Califórnia para verificar a produtividade do solo em áreas de plantio de uva e algodão.

O benefício do SIR como índice de qualidade do solo poderia ser melhor se existisse uma relação estatística significativa entre os valores do SIR e indicadores econômicos do valor da terra. Reganold e Singer (1984) aplicando o SIR encontraram valores médios ponderados entre 60 e 100 para 744 campos no Vale de São Joaquim, no estado da Califórnia - USA. Os valores foram menores, porém, estatisticamente insignificantes quando comparados com as áreas que apresentaram índices menores que 60. A falta da significância estatística não significa que terras de melhor qualidade não pudessem ser cultivadas com baixos custos, ou ainda com maiores custos, porém, com maiores produtividades quando comparadas com áreas de baixa qualidade.

Um outro modelo quantitativo desenvolvido para avaliar a produtividade do solo na profundidade de 1 m, foi o índice de produtividade (IP), que tinha como referência as perdas potenciais de produtividade causadas pela erosão do solo (PIERCE et al., 1983). De acordo com Chaer (2001) o Índice de Produtividade é um modelo multiplicativo que integra variáveis do solo e medidas em campo para definir um índice relacionado a produção vegetal.

O modelo avalia a aptidão do solo para o desenvolvimento radicular, baseado nos indicadores: capacidade de água disponível do solo, densidade, aeração, pH e condutividade elétrica. Para cada propriedade ou atributo é atribuído um valor de 0 (zero) a 1 (um), o que indica a importância do indicador para o desenvolvimento do sistema radicular. O produto desses cinco valores indexados é utilizado para descrever a aptidão ou adequação de uma determinada camada de solo para o desenvolvimento radicular. Para calcular o índice IP utiliza-se a seguinte expressão:

$$IP = \sum_{j=1}^d (A \times B \times C \times D \times E \times RI)_i \quad (3)$$

onde A, B, C, D e E são valores determinados a partir de curvas de suficiência desenvolvidas para cada variável de acordo com o crescimento das raízes, RI é o fator peso baseado na distribuição ideal das raízes, padronizado entre 0 (zero) e 1 (um) e i representa as camadas ou horizontes do solo. Quanto mais o índice aproxima-se de 1 (um), a distribuição das raízes e a produtividade aproxima-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 (KELTING et al., 1999).

Gale et al. (1991), citados por Chaer (2001) propôs um modelo geral para avaliar a qualidade do solo, que determina um índice do efeito líquido do manejo em um conjunto mínimo de atributos do solo, conforme a equação:

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

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

Logo depois, Parr et al. (1992) propuseram um índice de qualidade do solo que combinasse uma gama de variáveis, inclusive diversidade biológica, manejo e segurança e qualidade dos alimentos, o que fez a FAO em 1997 sugerir-lo como um índice de qualidade do solo (SQI):

$$\text{SQI} = f(\text{PS}, \text{P}, \text{E}, \text{H}, \text{ER}, \text{DB}, \text{FQ}, \text{MI}) \quad (5)$$

onde o SQI está em função das PS = propriedades do solo, P = produtividade potencial, E = fatores ambientais, H = saúde humana e animal, ER = erodibilidade do solo, DB = diversidade biológica, FQ = segurança e qualidade dos alimentos e MI = manejo aplicado. No entanto, a determinação de um valor específico do indicador para cada variável e a interação entre elas são difíceis de mensurar, o que dificulta sua aplicação.

Smith et al. (1993) propuseram um método de transformação de indicador de múltiplas variáveis para associar valores ou taxas que representassem uma melhor estimativa de qualidade do solo. O sistema transformava dados complexos em simples seguindo um critério específico. Eles não se esforçaram para definir qualidade do solo ou mesmo, especificar quais características deveriam ser utilizadas, apenas associaram métodos para desenvolver mapas que indicassem critérios de qualidade do solo para um determinado ambiente.

No entanto, Karlen & Stott (1994), baseados na metodologia proposta por Wymore (1993) e fundamentados em um estudo de manejo de resíduo em uma cultura com 10 anos de idade, desenvolveram um conceito e um modelo geral, simples, para determinação do índice de qualidade do solo (IQS). O sistema é aditivo e está relacionado a quatro funções principais do solo: (1) permitir a entrada de água, (2) facilitar a transferência e a absorção de água no solo, (3) resistir a degradação e (4) promover e sustentar o crescimento de plantas. A estas funções são atribuídos pesos e integradas conforme a seguinte expressão:

$$q(FP) = I_1 \times W_1 + \dots + I_n \times W_n \quad (6)$$

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 metodologia de Karlen & Stott (1994) 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, que foi desenvolvida para suporte a decisão em sistemas de engenharia por Wymore em 1993 (GLOVER et al., 2000). A função é a seguinte:

$$v = \frac{1}{1 + ((B - L) / (x - L))^{2S(B+x-2L)}} \quad (7)$$

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 zero; 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.

Usando-se as curvas de padronização de escores geram-se três funções típicas de padronização. Figura 2: (a) “Mais é melhor”, (b) “Valor Máximo” e, (c) “Menos é melhor”.

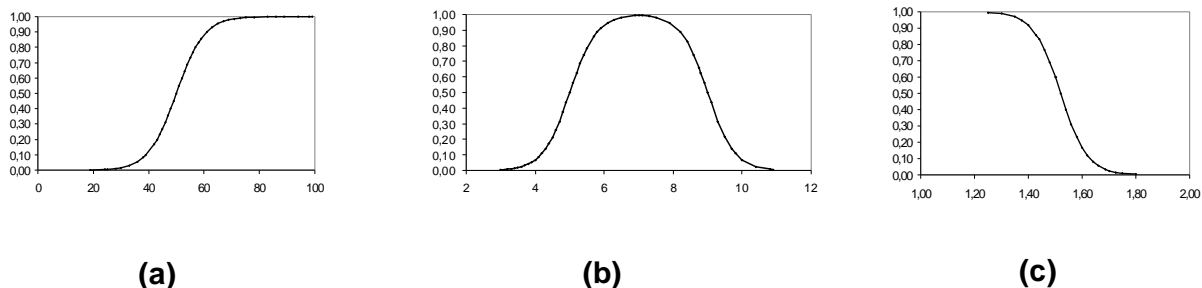


Figura 2. Funções de pontuação padronizada (a) “Mais é Melhor”, (b) “Valor Máximo” e (c) Menos é Melhor”. Fonte: Karlen & Stott (1994).

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. Deve-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).

As curvas de padronização do tipo “mais é melhor” possuem 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 2a); As curvas de “valor máximo” 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 2b). As curvas de padronização do tipo “menos é melhor” possuem 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 2c). A inclinação (S) da curva de padronização de escore no valor crítico é determinada utilizando-se planilhas eletrônicas em programas de computador, aplicando-se a equação de Wymore (1993).

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

$$\text{IQS} = (q\text{CRP} \times w\text{CRP}) + (q\text{CAA} \times w\text{CAA}) + (q\text{SN} \times w\text{SN}) \quad (8)$$

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.

O interesse, por parte dos pesquisadores, em desenvolver um método adequado para avaliar a qualidade do solo continuou. Snakin et al. (1996) propôs um índice de degradação do solo que indicava três valores de (1) um a (5) cinco, de acordo com o grau de degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e, por conseguinte uma taxa de degradação.

Depois, Dexter (2004 a, b, c) propôs um índice denominado S para quantificar a qualidade física do solo, o qual é obtido a partir da curva de retenção de água no solo. Para o cálculo do S o foco é a inclinação da curva de retenção da água no ponto de inflexão, podendo ser medido diretamente através da curva se existirem muitos pontos medidos com exatidão. Entretanto, é mais conveniente ajustar a curva a uma função matemática e então calcular a inclinação no ponto de inflexão em termos dos parâmetros da função. Neste caso, os pares de pontos experimentais (θ, h) são ajustados com a equação de van Genuchten (1980).

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

onde θ_{sat} e θ_{res} são as umidades na saturação e residual, respectivamente; θ e h são a umidade do solo e tensão da água no solo; α , m e n são parâmetros que governam o formato da curva ajustada. Dexter & Bird (2001) demonstraram que o módulo do potencial da água no ponto de inflexão, quando é plotado como $\ln(h)$ contra θ é:

$$hi = \frac{1}{\alpha} \left[\frac{1}{m} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (10)$$

Substituindo [8] em [7] obtém-se a umidade do solo no ponto de inflexão como:

$$\theta = (\theta_{sat} - \theta_{res}) \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-m} + \theta_{res} \quad (11)$$

E assim tem-se a declividade da curva de retenção de água no ponto de inflexão:

$$S = (\theta_{sat} - \theta_{res}) \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+m)} \quad (12)$$

onde h está em hPa e θ está em kg^{-1} . Como S está relacionado a distribuição de poros por tamanho, indica o índice de qualidade física do solo.

Para o monitoramento do índice de qualidade do solo (IQS), muitos autores têm utilizado o modelo proposto por Karlen & Stott (1994). Dentre eles, Hussain et al., (1999) que 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. Observaram a flexibilidade e facilidade de utilização e a importância da ferramenta para identificação de problemas referentes ao manejo adequado dos solos. Glover et al. (2000) na busca de uma metodologia universal para monitorar o IQS, também adaptaram a metodologia para avaliar os efeitos dos diferentes sistemas de produção de maçã no IQS, indicando sua aplicação para diferentes regiões, sistemas de cultivo e objetivos de avaliação.

No Brasil, os trabalhos pioneiros foram os de Chaer (2001), Souza et al., (2003), Souza (2005) e Dias (2006), que aplicaram criteriosamente o método de Karlen & Stott (1994).

Chaer (2001) modificou o IQS para avaliar o efeito de diferentes manejos na cultura do eucalipto sobre a qualidade do solo, validando a metodologia e afirmando que os maiores índices realmente representam os solos com melhor qualidade. Souza et al., (2003) aplicaram o IQS em um estudo de caso para citros em solos coesos dos Tabuleiros Costeiros e também verificaram que se trata de uma metodologia de fácil aplicabilidade, 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. O mesmo foi observado por Souza (2005), que aplicou a metodologia para avaliar a qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros sob floresta natural, também validando a metodologia. Mas recentemente, Dias (2006), também utilizou a metodologia aplicando-a em uma área cultivada com citros. Observou que o índice de qualidade do Latossolo Amarelo Coeso foi alterado positivamente pelo manejo com subsolagem no preparo inicial do solo associado ao feijão-de-porco como cobertura vegetal nas entrelinhas do pomar.

SISTEMAS DE MANEJO E A QUALIDADE DO SOLO

O solo constitui-se em um dos principais fatores de produção, porque oferece suporte para as plantas e fornece as condições indispensáveis ao seu desenvolvimento, envolvendo água, nutrientes e calor. Entretanto, a demanda por alimentos e o uso intensivo tem levado a uma considerável degradação deste recurso natural e conseqüentemente a perda de sua qualidade. (DORAN & ZEISS, 2000; COSTA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2005).

A avaliação direta das propriedades do solo parece ser a forma mais adequada de medir ou monitorar qualquer processo de degradação deste recurso natural (BURGER, 1999). Por isso, a avaliação da qualidade do solo tem sido proposta como um indicador integrado da qualidade do ambiente e da sustentabilidade da produção agrícola. Um solo estruturalmente estável, manejado corretamente, de forma que aumente ou conserve a sua qualidade, não somente irá aumentar a produtividade das culturas, melhorando os níveis de emprego e renda no meio rural, como também contribuirá para manter a qualidade ambiental (KENNEDY & PAPENDICK, 1995).

De acordo com Silva et al. (2006) a estrutura de um solo funcional se caracteriza pela ocorrência de grandes agregados estáveis, do que resultam entre eles poros grandes, que permitem a livre passagem de ar e água e por onde as raízes das plantas facilmente encontram caminhos para o crescimento. Em oposição, solos com estrutura deficiente, adensados ou compactados, pela ausência dos agregados grandes ou macroporos, impõem restrições ou mesmo impedimento aos processos de transferência de energia e materiais em seu corpo, influenciando negativamente a velocidade de infiltração da água no solo,

favorecendo seu acúmulo na superfície, provocando o escoamento, que pode levar a erosão.

Sabe-se que o preparo do solo, com a utilização de implementos de discos, resulta na formação de camadas compactadas, reduzindo a estabilidade dos agregados e propiciando o aparecimento, em maior número, de microporos, aumentando a propensão à perda de solo por erosão. Além disso, a compactação aumenta a resistência à penetração de raízes, o que afeta sua distribuição, crescimento e absorção de nutrientes pelas plantas (KIRKEGAARD et al., 1993). Conseqüências do preparo intensivo do solo estão registradas nos trabalhos de TORMENA & ROLOFF, (1996); FLOWERS & LAL, (1998) e DIAS JUNIOR et al., (1999).

O desenvolvimento de estratégias de manejo do solo com vistas a minimizar estes problemas nos sistemas de cultivo é preocupação dos pesquisadores dos EUA e Canadá desde os anos 20 (BLEVINS & FRYE, 1993). No Brasil esta preocupação começou somente a partir dos anos 70, com a difusão de manejos alternativos ao sistema convencional (IPEF, 2004). Desde então, muitas alternativas têm sido propostas para amenizar o processo de degradação do solo como: o cultivo de espécies com sistema radicular vigoroso, a adoção da prática do plantio direto, o uso de leguminosas para incorporação no solo e mais recentemente o monitoramento ou avaliação da qualidade do solo, através de metodologias que quantificam e qualificam as condições estruturais do solo nos vários sistemas de manejo, garantindo, a permanência dos sistemas agrícolas (DIAS JUNIOR, 1999; SANCHES et al., 1999; ARAÚJO et al., 2003; SOUZA, 2005).

Assim, na busca pela sustentabilidade torna-se cada vez mais imperativa a necessidade do estabelecimento de critérios e metodologias para a avaliação e o monitoramento do efeito das atividades humanas sobre o ambiente, buscando, dentre outros aspectos, reorientá-las (LEONARDO, 2003). Neste contexto, qualificar e quantificar a qualidade do solo na camada arável, constitui-se em importante informação a ser amplamente utilizada para a orientação e monitoramento do uso e manejo sustentável do solo. Portanto, este trabalho tem como objetivos: identificar a melhor profundidade de amostragem e o efeito do sistema de uso e manejo na determinação do índice de qualidade do solo.

LITERATURA CITADA

ANDERSON, D.W.; GREGORICH G. Effect of soil erosion on soil quality and productivity. In: Soil erosion and degradation. ANNU. WESTERN PROVINCIAL CONF. ON RATIONALIZATION OF WATER AND SOIL RES. AND MANAGE., 2.nd, Saskatoon, SK, Canada. **Proceedings:** soil erosion and degradation. Saskatoon, SK, Canada. Angers, D.A., and M.R. Carter., 1984. p.105-113.

ARAÚJO, G.M.; HARIDASAN, M. A comparison of the nutritional status of two forest communities on mesotrophic and dystrophic soils in Central Brazil. **Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1075-1089, 1988.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; ABARKELI, R. B. Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils. **Chemosphere**, Oxford, v. 52, p. 799-804, 2003.

ARSHAD, M.A.; COEN, G.M. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.7, p.25-31, 1992

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

AITA, C. et al. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.157-165, 2001.

ANDREWS, S.S.; KARLEN, D.L.; MITCHELL, J.P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in northern California. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.90 p. 25 - 45, 2002.

BEARE, M.H.; WILLIAMS, P.H.; CAMERON, K.C. On – farm monitoring of soil quality for sustainable crop production. In: FERTILIZER AND LIME RESEARCH CENTRE CONFERENCE, 1999, New Zealand. **Proceedings**. New Zealand: University, Palmerston North, 1999. p.81-90. (Ocasional report, 12).

BEKE, G.J.; JANZEN, H.H.; ENTZ, T. Salinity and nutrient distribution in soil profiles of long-term crop rotations. **Canadian Journal Soil Science**, v.74, p.229-234, 1994.

BERTONE, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

BIEDERBECK, V.O.; CAMPBELL, C.A.; KRAINETZ, H.U. Soil microbial and biochemical properties after ten years of fertilization with urea and anhydrous ammonia. **Canadian Journal Soil Science**, v. 76, p. 7-14, 1996.

BOEHN, M.M.; ANDERSON, D.W. A landscape-scale study of soil quality in three prairic farming systems. **Soil Science American Journal**. v.61, p.1147-1159, 1997.

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

BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. Conservation tillage: an ecological approach to soil management. **Advances in Agronomy**., v.51, p.33–78, 1993.

BRADY, N.C.; WEIL, R.P. **The nature and properties of soil**. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 1000p.

BREJDA, J.J. et al. Distribution and variability of surface soil properties at a regional scale. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.974-982, 2000a.

_____. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and southern high plains. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.2115-2124, 2000b.

_____. Identification of regional soil quality factors and indicators: II. Northern Mississippi loess hills and Palouse prairie. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.2125-2135, 2000c.

BURGER, J.A. ; KELTING, D.L. Using soil quality indicators to assess forest stand management. **For Ecology Manage**, n.122, p.155-166, 1999.

CARTER, M.R.; GREGORICH, E.G.; ANDERSON, J.W. Concepts of soil quality and their significance. In: GREGORICH, E.G. **Soil quality for crop production and ecosystem health**. Netherlands, Amsterdam: Elsevier Science Publisheres, 1997.

CAVALIERI, A. **Estimativa da adequação de uso das terras na quadrícula de Moji Mirim (SP) utilizando diferentes métodos**. 1998. 112f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

CHAER, 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.

CONCEIÇÃO P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.777-788, set./out. 2005.

COSTA, F.S.et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.527-535, 2003.

COOK, N.; HENDERSHOT, W.H. The problem of establishing ecologically based soil quality criteria: The case of lead. **Canadian Journal Soil Science**, v.76, p.335-342, 1996.

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, 2004a.

_____. Soil physical quality Part II.: riability, tillage, tilth and hard-setting. **Geoderma**, v.120, n. 3/4, p.215 – 225, 2004b.

_____. Soil physical quality Part III.:Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. **Geoderma**, v.120, n.3/4, p.227 – 239, 2004c.

_____; BIRD, N.R.A. Methods for predicting the optimum and the range of water contents for tillage based on the water retention curve. **Soil Tillage Research**, n. 57, p.203-212, 2001.

DIAS, R.C. dos S. **Qualidade do solo e desenvolvimento radicular de citros em Latossolo Amarelo coeso sob diferentes sistemas de manejo**. 2006. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, Ba, 2006.

DIAS JUNIOR, M.S. et al. Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural dos solos em sistemas florestais na região de Aracruz - ES. **Revista Árvore**, v.23, p.371-380, 1999.

DINIZ, B.L.M.T. et al. Avaliação da produtividade do milho em função da adubação verde. **Agropecuária Técnica**, Areia, v.23, n.1/2, p.57-62, 2002.

DONZELLI, P.L. et al. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. In: LOMBARDI NETO, F.; CAMARGO, O.A. **Microbacias do córrego São Joaquim**. Campinas: IAC, 1992. p. 91-119. (Documento 29).

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

_____; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A.; Soil health and sustainability. I **Advances in Agronomy**, San Diego, CA, v. 56, p. 1 – 54, 1996.

_____; JONES, A.J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. (SSSA special publication, 49)

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v.15, n.1, p.3-11, aug.2000.

ELMHOLT, S. et al. Soil stresses, quality and care. In: NJF SEMINAR , 310., 2000, Tjele. **Proceedings...** Tjele: Danish Institute of Agricultural Science, Tjele, 2000. p. 179.

ELMHOLT, S. et al. Soil stresses, quality and care: concluding remarks from discussions in working group and plenary sessions of NJF-SEMINAR, 310, Tjele. **Proceedings...** Tjele: Danish Institute of Agricultural Science, 200b. p.171-179.

FLOWERS, M.D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.48, p.21-35, 1998.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. **A framework for land evaluation**. Rome, Italy, 1976. (FAO Soils Bulletin, 32)

_____. **Planning for sustainable use of land resources: towards a new approach**. Rome, Italy, 1995.

_____. **Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development**. Rome, Italy, 1997.

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. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.80, p.29-45, 2000.

GRANATSTEIN, D.; BEZDICEK, D.F. The need for a soil quality index: Local and regional perspectives. **American Journal of Alternative Agriculture**. v.7, p.12-16, 1992.

GREGORICH, E.G. Soil quality: a canadian perspective. In: SOIL QUAL. INDIC. WORKSHOP, 1996. **Proceedings...** Ministry of Agric. And Fisheries, and Lincoln Soil Quality Res. Cntr. Lincoln University., Christchurch, NZ.

GREGORICH, E.G. et al. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v.74, n.2, p.367-375, 1994.

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

HUDDLESTON, J.H. Development and use of soil productivity ratings in the United States. **Geoderma**, v.32, p.297-317, 1984.

IPEF. **Ciência e tecnologia no setor florestal brasileiro: diagnóstico, prioridades e modelo de financiamento: silvicultura e manejo**. Piracicaba, 2004. (Relatório final).

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Soil quality indicators properties in Mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.55, p. 69-78, 2000.

JOHNSTON, A.E.; GOULDING, K.W.T.; POULTON, P.R. Soil acidification during more than 100 years under permanent grassland and woodland at Rothamsted. **Soil Use Manage**, v.2, p.3-10. 1986.

LAL, R. Trends in world agricultural use: potencial and constraints. In: LAL, R., STEWART, B. (Ed). **Soil management, experimental basis for sustainability and environmental quality**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 521-535.

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

_____. 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).

LEONARDO, H.C.L. **Indicadores de qualidade de solo e água para a avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo Cue, Região Oeste do Estado do Paraná**. 2003. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

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.

LIEBIG, M.A.; DORAN, J.W.; GARDNER, J.C. Evaluation of a field test kit for measuring selected soil quality indicators. **Agronomy Journal**, n. 88, p. 683-686, 1996.

PARR, J. F. et al. Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. **American Journal Alternative Agriculture**, v.7, n.1, p.5 – 11, 1992.

PIERCE, F.J.; LARSON, W.E.; DOWDY, R.H. Soil loss tolerance: maintenance of long-term soil productivity. **Journal of Soil and Water Conservation**, n.39, p. 136-138, 1984.

PIERCE, F.J.; LARSON, W.E.; DOWDY, R.H. Productivity of soils: assessing long-term changes due to erosion. **Journal of Soil and Water Conservation**, n.38, p. 39-44, 1983.

JAENICKE, E.C.; LENGNICK, L.L. A soil quality index and its relationship to efficiency and productivity growth measures two decompositions. **American Journal of Agricultural Economics**, n.81, p. 881-893, 1999.

KARLEN, D.L.; EASH, N.S.; UNGER, P.W. Soil and crop management effects on soil quality indicators. **American Journal. Alternative Agriculture**, n.7, p. 48-55, 1992.

_____.; STOTT, D.E. A framework for evaluating physics and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W, et al. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of American/American Society of Agronomy, 1994. p.53-71. (SSSA Special publication, 35).

_____.et al. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (A guest editorial). **Soil Science Society of American Journal**, n.61, p. 4-10, 1997.

_____.; GARDNER, J.C.; ROSEK, M.J. A soil quality framework for evaluating the impact of CRP. **Journal of Production Agriculture**, n.11, p. 56-60, 1998.

_____. ; ANDREWS, S.S., DORAN, J.W. Soi quality: current concepts and applications. **Advances in Agronomy**, n.74, p.1-40, 2001.

_____.; DITZLER, C.A.; ANDREWS, S.S. Soil quality: why and how? **Geoderma**, v.114, p.145-156, 2003.

KELTING, D.L. et al. Soil quality assessment in domesticated forests – a southern pine example. **Forest Ecologic Manage.** v.122, p.167 – 185, sept. 1999.

KENNEDY, A.C.; PAPENDICK, R.I. Microbial characteristics of soil quality. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.50, p.243-248, 1995.

KIRKEGAARD, J. A.; SO, H. B.; TROEDSON, R. J. Effect of compaction on the growth of pigeon pea on clays soils. III. Effect of soil type and water regime on plant response. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.26, p.163-178, 1993.

MERKER, J. Untersuchungen na den Ernten und Boden des versuches Ewiger Roggebau in Halle (Saale). **Kuhn-Archiv**, n.70, p.154-215. 1956.

MOEN, J.E.T. Soil protection in the Netherlands. In: WOLF, K. **Contaminated soil.**, Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, p. 1495-1503, 1988.

MURATA, T.; NGUYEN, M.L.; GOH, K.M. The effects of long-term superphosphate application on soil organic matter content and composition from an intensively managed New Zealand pasture. **Europe Journal Soil Science**, v.46, p.257-264, 1995.

MCGRAW, T. Soil test level variability in Southern Minnesota. **Better Crops with Plant Foods**, v.78, p.24-25, 1994.

ODELL, R.T.; MELSTED, S.W.; WALKER, W.M. Changes in organic carbon and nitrogen of Morrow plot soils under different treatments, 1904-1973. **Soil Science**, v.137, p.160-171, 1984.

OLIVEIRA, M. L. et al. Soil temperature and moisture fluctuations in response to vegetation cover. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.535-539, 2005.

PRADO, H. do **Manual de classificação de solos do Brasil**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 197p.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E.G.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Brasília: EMBRAPA, 1978. 70 p.

REGANOLD, J.P.; SINGER, M.J. Comparison of farm production input/output ratios of two land classification systems. **Journal of Soil Water Conservation**, v.39, p.47-53, 1984.

REGANOLD, J.P.; PAPENDICK, R.I.; PARR, J.F. Sustainable agriculture. **Science American**, n.262, p.72-79, 1990.

RODRIGUES, J.B.T.; ZIMBACK, C.R.L.; PIROLI, E.L.. Utilização de sistemas de informação geográfica na avaliação do uso da terra em Botucatu (SP). **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.25, p.675-681, 2001.

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

SANCHES, A.C. et al. Impacto do cultivo de citros em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.91-9, 1999.

SEYBOLD, C.A.; HERRICK, J.E.; BREDJA, J.J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. **Soil Science**, n. 164, p. 224-233, 1998.

SHEPHERD, T.G. **Visual soil assessment field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country**, New Zealand Palmerston North, v.1, 2000.

SNAKIN, V.V. et al. The system of assessment of soil degradation. **Soil Technology**, v.8, p.331-343, 1996.

SILVA, L. F. S. da et al. Efeitos do sistema de manejo na qualidade física do solo e na produtividade do milho em Latossolo Vermelho Distroférico.. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Anais...** novos desafios do carbono no manejo conservacionista. Aracaju: Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 2006. v.1. p.1-4.

SIMS, J.T.; CUNNINGHAM, S.D.; SUMMER, M.E. Assessing soil quality for environmental purposes: roles and challenges for soil scientists. **Journal Environmental**, v.26, p. 20-25, 1997.

SINGER, M.J.; WARKENTIN, B. P. Soil in an environmental context: an American perspective. **Catena**, v.27, p.179-189, 1996.

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.

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

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

SOMBROCK, W.G. Land resource evaluation and the role of land-related indicators. In: FAO. **Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development. land and water bull.** Rome, Italy, 1997. p. 9-17.

SOUZA, A.L.V. **Avaliação da qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural**. 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, Ba, 2005.

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 citrus em solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.

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, p.1-24, 1999.

STORIE, R. EARL. An index for rating the agricultural value of soils. Univ. of Calif. Agr. Exp. Sta. Bull 556, 1932.

TORMENA, C.A. et al. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, p.65-71, 2004.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.333-339, 1996.

USDA Economic Research Service. **Illinois fact sheet**. 2001. Disponível em: <<http://www.ers.usda.gov/StateFacts/IL.htm>>. (Acesso em: 26 ago. 2006).

WARKENTIN, B.P.; FLETCHER, H.F. Soil quality for intensive agriculture: intensive agriculture Society of Science, Soil and Manure. Proceedings of the INTERNATIONAL SEMINAR ON SOIL ENVIRONMENT AND FERTILIZER management. National Institute of Agricultural Science, Tokyo, p. 594-598, 1977.

WARKENTIN, B.P. The changing concept of soil quality. **Soil Water Conservation**, v.50, p.226-228, 1995.

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

JENNY, H. **Factors of soil formation**: a system of quantitative pedology. New York: McGraw-Hill, 1941.

VAN GENUCHTEN, M.TH. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p. 892-898, 1980.

CAPÍTULO 1

PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM PARA AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO ¹

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

PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM PARA AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO

RESUMO: Embora existam diversas propostas metodológicas para avaliação do índice de qualidade do solo, ainda não se sabe qual a profundidade adequada para a coleta das amostras, visando sua determinação. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo determinar a profundidade de amostragem para avaliação do índice de qualidade do solo. O estudo foi desenvolvido no município de Cruz das Almas – BA, em uma área de reserva natural e no município de Governador Mangabeira - BA, em uma área de plantio com fumo (*Nicotiana tabacum L.*), nas quais o solo foi classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso típico. Utilizou-se o método proposto por Karlen & Stott (1994) e as amostras foram coletadas em três profundidades, 0,00 - 0,20; 0,20 - 0,30 e 0,30 - 0,40 m. Verificou-se que o manejo altera o índice de qualidade do solo em profundidade, por tanto, a estratégia de amostragem depende da condição de uso. Em ambiente natural pode-se amostrar em apenas uma profundidade e em sistemas agrícolas recomendam-se no mínimo duas amostragens para obtenção de um valor médio, sendo uma mais superficial e outra mais subsuperficial.

Palavras-chaves: Tabuleiros Costeiros, sustentabilidade, manejo do solo.

SAMPLING DEPTH FOR THE EVALUATION OF THE SOIL QUALITY INDEX

ABSTRACT: Several methodologies have been proposed to evaluate the soil quality, although the great majority of the sample, for this evaluation, have been collected in soil surface layers, we don't know the correct sampling depth yet. Thus, the purpose of this paper is to determine the sampling depth for the evaluation of the soil quality index. The study was developed in the cities of Cruz das Almas and Governador Mangabeira, State of Bahia, Brazil, in a natural reserve area and in tobacco (*Nicotiana tabacum L.*) crop area, respectively, where the soil was classified as Cohesive Yellow Argissol. It was used the soil quality index model proposed by Karlen & Stott (1994) and the soil samples were collected in depths of 0,00 - 0,20; 0,20 - 0,30 and 0,30 - 0,40 m. The results showed that the soil quality index was modified in depth, by the management system, so, the sampling strategy depend on the soil uses. In a natural reserve the soil sample should be collect in just one depth, while in agricultural systems, at least two samples should be collect, one in a surface and other in a subsurface.

Key words: Costal table lands soil, sustainable, soil management.

INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural de suma importância na sustentação dos diversos ecossistemas, servindo como suporte mecânico ao vegetal e fornecendo água, oxigênio, energia na forma de íons e substâncias. Sua capacidade para funcionar no desempenho destas funções é referida como qualidade do solo (Doran & Parkin 1994).

Os primeiros conceitos relativos à qualidade do solo surgiram no final dos anos de 1970. Mas só no início dos anos de 1990 foram formuladas as concepções mais amplas, cuja síntese define qualidade do solo como à “capacidade de um solo funcionar, dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica, mantendo a qualidade do ambiente e promovendo a saúde de plantas e animais, a qual é, logicamente, influenciada pelo manejo e pelo homem” (Doran & Parkin 1994; Seybold et al., 1998; Karlen et al., 2003). Por tanto, trata-se de um conceito amplo que enfatiza, além da produtividade agrícola, a qualidade ambiental, a segurança e a qualidade dos alimentos.

Embora existam vários métodos para monitorar e avaliar a qualidade da água e do ar, nenhum método sozinho tem sido amplamente aceito para atribuir um índice de qualidade ao solo, devido a complexidade e variabilidade desse sistema (Glover et al., 2000).

Uma dessas metodologias foi a proposta por Karlen & Stott (1994). Esses autores sugerem um modelo aditivo, que combina diferentes funções e indicadores para determinar o índice de qualidade do solo (IQS), cujos resultados variam na escala de 0 – 1. Quando o resultado do IQS é 1 o solo apresenta alta qualidade para a função avaliada. Quando o IQS é zero ou um valor próximo, indica limitações ou baixa qualidade. Muitos autores utilizaram este modelo em várias situações de uso e manejo. 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. Observaram a flexibilidade e facilidade de utilização e a importância da ferramenta para identificação de problemas referentes ao manejo adequado do solo. Glover et al. (2000) na busca de uma metodologia universal para monitorar o IQS, também adaptaram a metodologia para avaliar os efeitos dos diferentes sistemas de

produção de maçã no IQS, indicando sua aplicação para diferentes regiões, sistemas de cultivo e objetivos de avaliação.

No Brasil, Chaer (2001), Souza (2003), Souza (2005) e Dias (2006), aplicaram o método de Karlen & Stott (1994). Chaer (2001) modificou o método de Karlen & Stott (1994) para avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo da cultura do eucalipto sobre a qualidade do solo. Validou a metodologia e concluiu que os maiores índices realmente representam os solos com melhor qualidade. Souza et al. (2003) realizaram um estudo de caso para citros em solos coesos dos Tabuleiros Costeiros e também verificaram que se trata de uma metodologia de fácil aplicabilidade 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. O mesmo foi observado por Souza (2005), que aplicou a metodologia para avaliar a qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros sob floresta natural. Mas recentemente, Dias (2006), também validou a metodologia aplicando-a em uma área cultivada com citros e observou que o índice de qualidade do Latossolo Amarelo Coeso foi alterado positivamente pelo manejo do solo.

Nestas pesquisas, a maioria das amostras para avaliação do índice de qualidade do solo tem sido coletada nas camadas superficiais, no entanto ainda não se tem certeza de qual seja a profundidade ideal. Pressupõe-se que seja aquela correspondente a camada arável do solo na qual têm-se o máximo efeito dos diferentes manejos nos indicadores de qualidade do solo para produção vegetal (Karlen et al., 1997; Schoenholtz, 2000; Dias, 2002). Este trabalho tem como objetivo, identificar a profundidade de amostragem para avaliação do índice de qualidade em um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da Área

O estudo foi desenvolvido na região do Recôncavo Baiano, nos municípios de Cruz das Almas e Governador Mangabeira, em uma altitude média de 200 m, precipitação pluviométrica média anual de 1.170 mm, com variações entre 900 e 1.300 mm, sendo os meses mais chuvosos, de março a agosto, e os mais secos, de setembro a fevereiro (Ribeiro, 1998). Para as duas áreas o relevo é plano e o clima predominante, segundo a classificação de Kooppen, é do tipo Am, caracterizado por clima de bosque chuvoso quente e úmido e temperatura média de 25 °C.

No município de Cruz das Almas, Bahia, as amostras de solo foram coletadas em uma Reserva biológica municipal remanescente de Mata Atlântica, floresta estacional semidecidual, conhecida como “Mata de Cazuzinha” com aproximadamente 11 hectares (Figura 1). Apresenta características da floresta ombrófila densa, com uma predominância de *Aspidosperma*, *Swartzia*, *Lucuma*, *Caesalpinia*, *Tabebuia*, *Spondias*, *Sparattosperma*, *Platypodium* e *Cedrella*. No sub-bosque, constata-se a presença de representantes destas espécies, em processo de crescimento, ao lado de uma riqueza considerável de Dioscoreáceas, Cactáceas, Passifloráceas, Malpighiáceas, Sapindáceas e Bignoniáceas crescendo apoiadas em suportes vivos. As coordenadas geográficas são: 12° 40' 19" de latitude Sul e 39° 06' 22" de longitude oeste e o solo foi classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (PAdx).

No município de Governador Mangabeira – BA, a coleta foi feita em uma área cultivada com a cultura do fumo pela “Danco Comércio e Indústria de Fumos LTDA”, localizada na fazenda Capivarí (Figura 2), cujas coordenadas geográficas são: 12° 36' 00" de latitude Sul e 39° 02' 00" de longitude oeste e o solo classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (PAdx).



Figura 1. Reserva municipal de Mata Atlântica localizada no Município de Cruz das Almas - BA.



Figura 2. Área de cultivo do fumo localizada na Fazenda Capivarí, no município de Governador Mangabeira – BA.

Coleta das Amostras

As amostras foram coletadas em um transecto de 50 m, espaçadas de 10 em 10 m, totalizando 5 pontos de amostragem. Em cada ponto foram coletadas, amostras deformadas e indeformadas em três profundidades: 0 - 0,20; 0,20 - 0,30 e 0,30 - 0,40 m (Figura 3). A coleta das amostras indeformadas foi feita com extrator de solo tipo Uhland (Bravifer) e as deformadas com amostrador pedológico, tipo sonda.



(a)



(b)



(c)

Figura 3. Coleta de amostras indeformadas nas três profundidades avaliadas: (a) 0,00 – 0,20; (b) 0,20 – 0,30 e (c) 0,30 – 0,40 m, na área de cultivo com o Fumo.

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_{33kPa}/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). Os métodos utilizados foram: 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 (RP) e umidade gravimétrica (Ug) 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 e equações de regressão (Busscher et al., 1977) foram ajustadas, sendo possível obter-se o valor da RP para 100 kPa.

O modelo de avaliação do índice de qualidade do solo utilizado foi o proposto por Karlen & Stott (1994). O sistema é aditivo e está relacionado a quatro funções principais do solo: (1) permitir a entrada de água, (2) facilitar a transferência e a retenção de água no solo, (3) resistir a degradação e (4) promover e sustentar o crescimento de plantas. A estas funções são atribuídos pesos e integradas conforme a seguinte expressão:

$$q(FP) = I_1 \times W_1 + \dots + I_n \times W_n \quad (1)$$

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. 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 mesma. 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). Após identificar as funções principais, seus indicadores e respectivos pesos é necessário normalizar os valores em uma escala única, também entre 0 (zero) e 1,0 (um). 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:

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

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 (1993), primeiro é preciso calcular a inclinação da tangente da curva de pontuação no valor crítico do indicador. Neste processo geram-se três funções típicas de padronização (Figura 4).

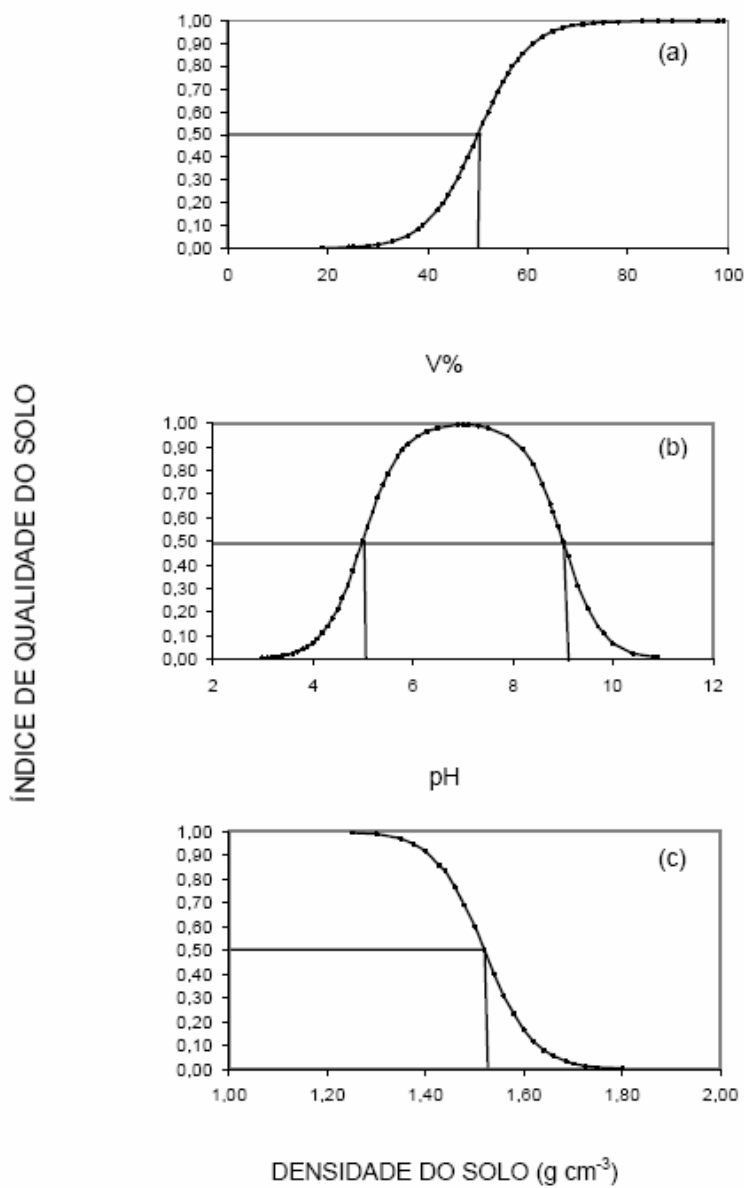


Figura 4. Funções típicas de padronização para a equação de Wymore (1993) (a) “Mais é Melhor”, (b) “Valor Máximo” e (c) “Menos é Melhor”. Fonte: Karlen & Stott (1994).

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 é utilizada para padronização de indicadores em que os maiores valores melhoram a qualidade do solo, a exemplo da capacidade de troca de cátions, saturação por bases, estabilidade de agregados e teor de carbono orgânico (Figura 4a); curvas de “valor máximo” possuem inclinação positiva até o valor máximo e é utilizada 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” possuem 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).

Para este estudo foram utilizados os mesmos indicadores estabelecidos por Souza et al. (2003) e apenas os ponderadores das funções foram ajustados para a cultura do fumo. Assim, foram definidas três funções principais, seus respectivos indicadores de qualidade e ponderadores, como pode ser observado no quadro 1. O IQS foi calculado segundo a equação 1, e os valores encontrados

Quadro1. Funções principais e indicadores físicos e químicos utilizados para avaliação da qualidade de um Argissolo Amarelo Distrocioso típico sob dois sistemas de uso

Funções Principais	Ponderadores das funções	Indicadores de qualidade (*)	Ponderadores dos Indicadores	Limites Críticos		Referências dos Limites Críticos
				Inferior	Superior	
Crescimento radicular em profundidade (FCRP)	0,40	RP _{100 kPa} (MPa)	0,40	2,00		Taylor et. al. (1966)
		MP (m ³ m ⁻³)	0,30	0,10	0,30	Carter (2002)
		DS (Kg dm ⁻³)	0,10	1,59		Souza et al. (2003)
		m (%)	0,20	50		Lepsch (1983)
Condução e Armazenamento de água (FCAA)	0,40	K _o (cm h ⁻¹)	0,20	2,00	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 (FSN)	0,20	pH em água	0,10	5,0	6,5	Alvarez et al. (1999)
		CTC (cmol _c dm ⁻³)	0,40	4,0		Lepsch (1983)
		V (%)	0,20	50		Lepsch (1983)
		MO (g Kg ⁻¹)	0,30	15		C.E.F Solo (1989)

(*)RP_{100kPa} = resistência à penetração a 100kPa de tensão na umidade do solo; MP = macroporosidade do solo; Ds = densidade do solo; m% = saturação por alumínio; K_o = condutividade hidráulica do solo saturado; UV_{33kPa}/PT = relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total; AD/PT = relação água disponível/porosidade total; CTC = capacidade de troca catiônica; V% = saturação por base e MO = matéria orgânica. Fonte: Souza et. al. (2003).

em cada função principal foram multiplicados pelo seus respectivos ponderadores, determinando-se assim, o índice de qualidade do solo (IQS), conforme equação 4.

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

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 estão descritos os indicadores químicos e físicos utilizados para a determinação do índice de qualidade do solo (IQS) e suas respectivas funções. Os resultados foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Área 1: Mata Natural

De acordo com os resultados das análises dos indicadores de qualidade do solo (Quadro 2) o Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (PA_{dx}), sob mata natural, apresenta acidez elevada, com valores de pH baixos e sempre inferiores a 4, caráter distrófico, média CTC, médio a baixo teor de matéria orgânica e saturação de alumínio baixa evoluindo para média em profundidade (Alvarez et al., 1999). Estas características indicam limitações e baixa oferta de nutrientes para as plantas cultivadas (Sample et al., 1980). Considerando o elevado acúmulo de material vegetal na superfície do solo, os resultados de MO sugerem que a serrapilheira adicionada pela vegetação da floresta, possui diminuta taxa de decomposição, possivelmente pelo alto teor de lignina e tamanho do material depositado, o que favorece a imobilização e dificulta a liberação dos nutrientes da matéria orgânica para o solo, justificando os resultados observados para este indicador e a baixa fertilidade da camada superficial para o PA_{dx}, conforme também verificaram Vitorello et al. (1989).

Observa-se que este solo apresenta restrições no que se refere a capacidade de retenção e disponibilidade de água, pois os indicadores de qualidade, relativos a esta função, UV_{33kPa}/PT e AD/PT , apresentam-se com valores médios abaixo dos seus respectivos limites críticos (0,55 e 0,125) em todas as profundidades avaliadas, o que levou a escores padronizados muito baixos e redução do índice de qualidade do solo para esses indicadores. Resultado semelhante foi observado por Souza (2005) para a mesma classe de solo sob mata natural. De acordo com Ribeiro (1996) este comportamento está relacionado à concentração de ácidos fúlvicos, resultantes da decomposição da matéria orgânica, que auxilia na migração das partículas de argila para camadas inferiores, tornando a camada superficial mais arenosa e, portanto, com reflexos na retenção de água e CTC, que são sempre baixos.

A condutividade hidráulica (K_o) diferiu estatisticamente nas três profundidades avaliadas, apresentando valores acima do limite crítico superior nas profundidades 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m. No ponto de amostragem de 0,40 m mostrou-se com um valor entre o limite crítico inferior e o superior, sendo classificada como moderada de acordo com Lepsch (1983).

Outro indicador que demonstrou valores médios com diferenças significativas entre as três profundidades estudadas foi a macroporosidade (MP). A amplitude deste indicador foi de $0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a $0,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo significativamente maior no ponto de amostragem 0,20 m. Estudos demonstram que quanto maior a percentagem de macroporos, mais o solo pode ser explorado pelas plantas, aumentando a área de atuação do sistema radicular (Longsdon et al., 1993; Timlim et al., 1994), verificando-se então que, neste caso, a macroporosidade seria um facilitador da expansão do sistema radicular das plantas.

No ponto de amostragem de 0,20 m, os indicadores resistência à penetração (RP_{100kPa}) e saturação por alumínio (m%), apresentaram valores médios menores e estatisticamente diferentes em relação as duas outras profundidades. A densidade do solo apresentou o maior valor dentre as três profundidades e bem acima do limite crítico de $1,59 \text{ Kg dm}^{-3}$, no entanto, este parece ser um resultado muito influenciado pela textura, que se apresentou arenosa, visto que a resistência a penetração nesta camada foi a menor das três.

Quadro 2. Valores médios dos indicadores de qualidade para um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico, sob dois sistemas de uso e manejo

PROF	FSN				FCRP				FCAA			
	pH	CTC	V	MO	m	Ds	RP _{100kPa}	MP	UV/PT	AD/PT	K ₀	MP
m	-	cmol _c dm ⁻³	%	g kg ⁻¹	%	g cm ⁻³	MPa	m ³ m ⁻³	-	-	cm h ⁻¹	m ³ m ⁻³
MATA NATURAL												
0,00 - 0,20	3,88a	7,66b	28,39b	28,83b	27,60a	1,67b	0,78a	0,28c	0,32a	0,08a	47,01c	0,28c
0,20 - 0,30	3,78a	5,80a	19,11a	19,19a	47,17b	1,56a	0,89b	0,20b	0,32a	0,08a	33,63b	0,20b
0,30 - 0,40	3,75a	5,25a	19,23a	15,02a	49,47b	1,52a	0,89b	0,12a	0,33a	0,07a	8,53a	0,12a
FUMO												
0,00 - 0,20	6,01a	3,48a	79,60a	17,98b	4,27a	1,61b	2,70b	0,15b	0,43a	0,05b	12,78a	0,15b
0,20 - 0,30	5,78a	3,57a	69,28a	13,08a	6,94a	1,63b	2,90a	0,13a	0,44a	0,06c	15,29a	0,13a
0,30 - 0,40	5,50a	3,33a	72,08a	11,73a	11,24a	1,68a	2,36c	0,14ab	0,52a	0,04a	5,31a	0,14ab

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%. FSN = Função Suprimento de Nutrientes, FCRP = Função Crescimento Radicular em Profundidade, FCAA = Função Condução e Armazenamento de Água.

Numa análise geral, a função que mais contribuiu para a composição do IQS do PAdx sob mata, foi a crescimento radicular em profundidade (0,35), com valores percentuais de aproximadamente 60% para as três profundidades estudadas (Figura 5). Os indicadores que participaram efetivamente desta composição foram: RP_{100kPa} , $m\%$ e MP, apresentando escores padronizados elevados, muito próximos de 1 e valores médios significativos nas diferentes profundidades avaliadas. Observa-se, ainda, que esta contribuição está relacionada às restrições apresentadas pelos indicadores da função CAA, a qual apresentou um valor de IQS de aproximadamente 0,08 (18%), desequilibrando a distribuição dos percentuais relativos a cada função, haja vista que o valor observado para a função SN ficou próximo do ideal, representando 21% do IQS global.

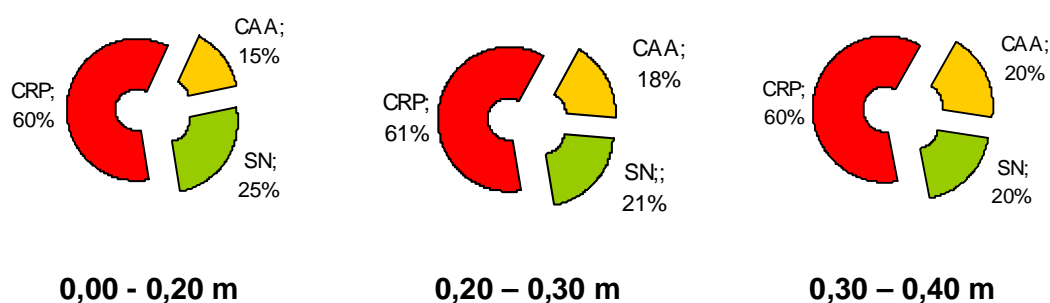


Figura 5. Participação relativa das funções crescimento radicular em profundidade (CRP); Condução e armazenamento de água (CAA) e Suprimento de nutrientes (SN) na composição do índice de qualidade para um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (PAdx) sob mata natural em três profundidades.

Os índices globais de qualidade do solo na mata para as três profundidades estudadas estão registrados no quadro 3. Muito embora alguns indicadores tenham apresentado diferenças significativas quando analisados individualmente, verificou-se que as funções principais crescimento radicular em profundidade (CRP) e condução e armazenamento de água (CAA) não apresentaram diferenças significativas entre as três profundidades avaliadas. Neste caso, apenas a função suprimento de nutrientes (SN) mostrou-se significativamente diferente entre as três profundidades, mesmo não sendo esta uma tendência tão explícita quando se analisa seus indicadores individualmente. As tendências verificadas também mostram que as funções CRP e SN diminuem, enquanto que

a CAA aumenta seu índice com a profundidade no PAdx sob mata natural. O IQS global segue a mesma tendência das funções CRP e SN.

O PAdx sob floresta natural apresenta-se com um índice de qualidade estimado acima de 0,5 para os três pontos de amostragem. Segundo Karlen & Stott (1994) estes resultados indicam um índice de qualidade ótimo para este solo. Entretanto, de acordo com Souza (2005) o ideal para o IQS seria uma classificação em três níveis: $\text{IQS} \leq 0,50$ ruim; IQS entre 0,51 a 0,70 média; $\text{IQS} \geq 0,71$ ótima, a qual consideramos mais adequada como escala para estimativa do IQS de um solo. Sendo assim, o PAdx sob mata natural teria um índice médio de qualidade.

Quadro 3. Índice de qualidade para um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico em três profundidades sob dois sistemas de uso e manejo

Prof (m)	Funções Principais			Índice Global
	CRP	CAA	SN	IQS
Mata Natural				
0,00 - 0,20	0,32a	0,07a	0,14c	0,55ab
0,20 - 0,30	0,34a	0,10a	0,12b	0,57b
0,30 - 0,40	0,31a	0,09a	0,09a	0,50a
Fumo				
0,00 - 0,20	0,10a	0,15a	0,28b	0,53b
0,20 - 0,30	0,09a	0,11a	0,20a	0,40a
0,30 - 0,40	0,09a	0,12a	0,17a	0,40a

CRP = Crescimento Radicular em Profundidade, CAA = Condução e Armazenamento de Água, SN = Suprimento de Nutrientes e IQS = Índice de Qualidade do Solo. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Em relação ao objetivo desta avaliação e considerando o resultado da comparação estatística (Quadro 3), a qual indica que o ponto de amostragem 0,20 m apresentou valor médio mais representativo, por ter sido intermediário entre as três camadas, entende-se que esta seja a profundidade indicada para coleta das amostras e determinação do IQS, logicamente, respeitando-se a condição não antropizada.

Área 2: Fumo

O Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (PA_{dx}) usado com o fumo apresenta acidez média a fraca, com valores de pH próximos de 6,0, caráter eutrófico, baixa CTC, médio e baixo teor de matéria orgânica e baixa saturação de alumínio, mas apenas na camada superficial (0,00 - 0,20 m), o pH apresenta-se com valor considerado satisfatório (6,01) para cultura do fumo. Verifica-se que a saturação por bases é superior a 70%. Nesta condição de uso o teor de matéria orgânica do solo nas três profundidades avaliadas também é baixo, com tendência de redução em profundidade.

Verifica-se que o indicador densidade do solo (D_s) apresentou valores superiores ao limite crítico de $1,59 \text{ Kg dm}^{-3}$ em todas as profundidades avaliadas, consequência da compactação do solo pelo tráfego de máquinas e implementos, para o preparo anual, tratamentos culturais e aplicação de agroquímicos, além do pastejo de bovinos no intervalo entre uma safra e outra. O aumento da D_s , refletiu na macroporosidade (MP) cujos valores foram baixos e muito próximos do limite crítico inferior estabelecido para este indicador. Os valores observados para resistência à penetração ($RP_{100\text{kPa}}$) foram diferentes em profundidade e muito maiores que o limite crítico (2,0 MPa), confirmando o efeito negativo do tráfego intenso das máquinas, com a consequente restrição para o desenvolvimento do sistema radicular da cultura do fumo.

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) não diferiu estatisticamente em profundidade, no entanto foi moderada nas duas primeiras camadas e muito próxima da classe lenta, na camada de 0,30 – 0,40 m, indicando uma significativa redução na capacidade do solo para conduzir água em relação a mata, o que pode ser atribuído ao aumento da densidade do solo (Quadro 2). Por outro lado, os valores encontrados para os indicadores, $UV_{33\text{kPa}}/PT$ e AD/PT , foram menores que o limite crítico em todos os pontos amostrados, indicando que mesmo com o aumento da densidade do solo e redução da porosidade causados pelo tráfego intensivo de máquinas, a área se encontra em condições de promover o rendimento da cultura quanto a disponibilidade de água, não obstante as limitações impostas pela capacidade de conduzi-la.

Observou-se que os valores de pH estão próximos da condição ideal para a cultura do fumo, principalmente na profundidade 0,00 - 0,20 m, enquanto a CTC,

que não diferiu significativamente em profundidade, é limitante e ficou abaixo do nível crítico em todos os pontos amostrados, o que contribuiu para que apresentasse escores padronizados baixos. Os níveis de MO também são baixos, o que reflete na CTC e na retenção de nutrientes. Outra influência fundamental da matéria orgânica é a agregação das partículas do solo, cujo efeito positivo também influencia indicadores como a densidade do solo, a porosidade e a capacidade de infiltração e retenção de água, que são fundamentais ao bom funcionamento do solo (Bayer & Mielniczulk, 1999), o que neste caso não se verifica.

Para esta condição de uso, a função que mais contribuiu para a composição do IQS foi a crescimento radicular em profundidade, com valores percentuais entre aproximadamente 40% e 50%, para as três profundidades estudadas (Figura 6). Os indicadores que participaram efetivamente desta composição foram: MP e m%, apresentando escores padronizados elevados e próximos de 1. Observa-se ainda, que esta contribuição, está relacionada as restrições apresentadas pelos indicadores K_o , UV_{33Kpa}/PT e AD/PT , da função CAA, que apresentaram escores padronizados muito baixos e conseqüentemente contribuíram para diminuir a participação da função CAA na composição do índice global, desequilibrando a composição do IQS.

Todos os indicadores da função SN, a exceção da CTC, apresentaram escores padronizados elevados, indicando os efeitos positivos do manejo para o atendimento das necessidades nutricionais do fumo, muito embora tenha-se verificado que esta função contribuiu menos do que o esperado para a composição do índice global, indicando algum nível de restrição, o qual pode ser atribuído a CTC, que também não depende do manejo, tendo em vista tratar-se de uma característica relacionada à natureza da matriz do solo e à matéria orgânica.

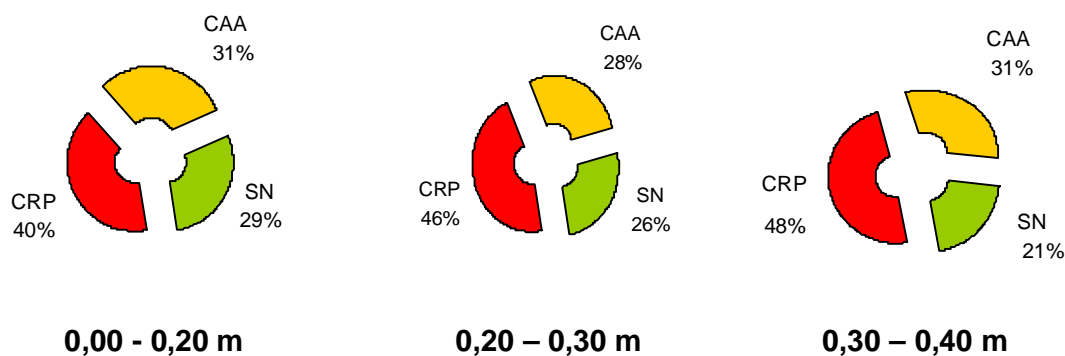


Figura 6. Participação relativa das funções crescimento radicular em profundidade (CRP); Condução e armazenamento de água (CAA) e Suprimento de nutrientes (SN) na composição do índice de qualidade para um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (PAdx) sob cultivo com o fumo em três profundidade.

As funções crescimento radicular em profundidade (CRP) e condução e armazenamento de água (CAA), também não apresentaram diferenças significativas entre as três profundidades avaliadas (Quadro 3). Neste caso, apenas a função suprimento de nutrientes (SN) mostrou-se significativamente diferente.

Considerando a classificação proposta por Souza (2005), o PAdx sob cultivo com o fumo, apresentou duas classes distintas de IQS: médio na profundidade 0,00 - 0,20 m e ruim nas outras duas profundidades, o que apesar da aração e gradagem, mostra que os efeitos do uso e manejo têm se concentrado na camada superficial. Logo, diferentemente das áreas não antropizadas pode-se inferir que, a amostragem para áreas cultivadas deve ser feita levando-se em conta os aspectos do manejo, ou seja, em duas profundidades distintas, sendo uma superficial e outra subsuperficial.

CONCLUSÃO

O manejo altera o índice de qualidade do solo em profundidade, por tanto, a estratégia de amostragem depende da condição de uso. Em ambiente natural pode-se amostrar em apenas uma profundidade e em sistemas agrícolas recomendam-se no mínimo duas profundidades de amostragem para obtenção de um valor médio, sendo uma mais superficial e outra mais subsuperficial.

LITERATURA CITADA

- ANGHINONI, I. & SALET, R.L. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (Ed). Conceitos e fundamentos do sistema de plantio direto. Lages: Núcleo Regional Sul/SBCS, 1998. p.27-52
- ALVAREZ V. V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVARES V., V.H, eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O, eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.9-26.
- 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.
- 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 Till. Res., 43: 205-217, 1977.
- BRADY, N.C. Natureza a propriedades dos solos. 7. ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989. 898 p.
- CARTER, M. R. Quality, critical limits and standardization. In: LAL, R. (Ed.). Encyclopedia of soil science. New York, arcel Dekker, 2002. p.1062 – 1065.

- 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. 2003. Anais. Ribeirão Preto, UNESP, 2003. CD-ROM.
- CHAER, G.M. Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 90p. (Tese de Mestrado)
- COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e calagem para o Estado da Bahia. 2. ed. Salvador, CEPLAC/EMATERBA/EMBRAPA/EPABA /NITROFÉRTIL, 1989. 173 p.
- DENT, D. & YOUNG, A. Soil survey and land evaluation. London, E & FN Spon, 1993. 292p.
- DIAS, L.E. Uso de indicadores de qualidade de solo no monitoramento de processos de recuperação de áreas degradadas. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 27:15-18, 2002.
- DIAS, R.C. dos S. Qualidade do solo e desenvolvimento radicular de citros em Latossolo Amarelo Coeso sob diferentes sistemas de manejo. Cruz das Almas, Universidade Federal da Bahia, 2006. 54p. (Tese de Mestrado)
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing Soil quality. In: DORAN, J.W. et al., ed. Defining soil quality for a sustainable environment, Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of American, 1994. p.3-21.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.
- HUSSAIN, I.; OLSON, K.R.; WANDER, D.L. & KARLEN, D. L. Adapitation of soil quality indices and aplication to three tillage systems in southern Illinois. Soil Till. Res., 50:237-249, 1999.
- KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A. & ANDREWS S. S. Soil quality: why and how? Geoderma. 114:145 -156, 2003.
- KARLEN, D. L. & STOTT, D.E. A framework for evaluating physics and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W, et al. ed. Defining soil quality for a sustainable environment, Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of American, 1994. p.53-71.
- 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. Soil Sci. Soc. Am. J, 61:4-10, 1997.
- KIEHL, E. J. Manual de edafologia. São Paulo, Agronômica “Ceres”, 1979. 262p.
- LEPSCH, I. F. Manual de levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175p.
- LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. 2. ed. Piracicaba, O autor. 2000, 509 p.
- LONGSDON, S.D.; MCCOY, E.L.; ALLMARAS, R.R. & LINDEN, D.R. Macropores characterization by indirect methods. London, Journal of Soil Science, 155: 316-324, 1993.
- MELO FILHO, H. F. R. & ARAÚJO FILHO, J. O. Descrição de perfil. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS,

- 1996, Cruz das Almas, 1984. Anais. Cruz das Almas, EAUFBA/GVFBA; EMBRAPA/CNPMPF, 1996. p.7 – 10.
- 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.
- RAIJ, B. V. & QUAGGIO, J. A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônômico, 1983. 31 p.
- REZENDE, J. O. Solos coesos dos tabuleiros costeiros: limitações agrícolas e manejo. Salvador, SEAGRI-SPA, 2000. 117 p. (Série Estudos Agrícolas, 1)
- 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.
- RIBEIRO, L. P. Os Latossolos Amarelos do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação. Salvador, Seplantec, 1998. 99 p.
- SEYBOLD, C.A.; HERRICK, J.E. & BREDJA, J.J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. *Soil Science*, 164:224 - 233, 1998.
- SOUZA, A.L.V. Avaliação da qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. Cruz das Almas, Universidade Federal da Bahia, 2005. 95p. (Tese de Mestrado)
- SOUZA, L. da S.; SOUZA, L.D. & SOUZA, L.F. da S. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Anais. Ribeirão Preto, UNESP, 2003. CD-ROM.
- 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/CNPMF, 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, 1:3 – 11, 1983.

SAMPLE, E.C.; SOPER, R.J. & RACZ, G.J. Reactions of phosphate fertilizer in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. ed. The role of phosphorus in agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1980. p. 263-310.

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.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M. & PARKER JR., J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. *Soil Sci.*, 102:18-22, 1966.

TIMLIM, D.J.; AHUJA, L.R. & ANKENY, M.D. Comparison of three field methods to characterize apparent macro pore conductivity. *Soil Science Society of American Journal*, Baltimore, 58:278-284, 1994.

VITORELLO, V.A; CERRI, C.C.; ANDREUX, F.; FELLER, C. & VICTÓRIA, R.L. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated Oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 53: 773-778, 1989.

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

CAPÍTULO 2

ÍNDICE DE QUALIDADE PARA UM ARGISSOLO AMARELO DISTROCOESO TÍPICO CULTIVADO COM FUMO¹

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

ÍNDICE DE QUALIDADE PARA UM ARGISSOLO AMARELO DISTROCOESO TÍPICO CULTIVADO COM FUMO.

RESUMO: A busca da sustentabilidade para as atividades agrícolas torna cada vez mais imperativa a necessidade do estabelecimento de critérios e metodologias para a avaliação e o monitoramento do efeito das atividades humanas sobre o ambiente. Sendo assim, este trabalho objetiva avaliar o efeito do sistema de uso e manejo no índice de qualidade para um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico cultivado com fumo. O estudo foi desenvolvido no município de Cruz das Almas – BA, em uma área de reserva natural, utilizada como referência, e no município de Governador Mangabeira - BA, em uma área de plantio com fumo (*Nicotiana tabacum L.*). Foram retiradas amostras de 10 em 10 m, em um transecto de 50 m, em três profundidades. Para determinação do índice de qualidade do solo foram avaliadas 3 funções principais com seus respectivos indicadores: crescimento radicular em profundidade (CRP): resistência à penetração (RP), macroporosidade (MP), densidade do solo (DS) e percentagem de saturação por alumínio (m%); condução e armazenamento de água (CAA): condutividade hidráulica no solo saturado (K_o), relação umidade volumétrica retida a 33 KPa/porosidade total (UV_{33KPa}/PT) e relação de água disponível/porosidade total (AD/PT) e suprimento de nutrientes (SN): pH, capacidade de troca catiônica (CTC), percentagem de saturação por bases (V%), e matéria orgânica (MO). O modelo de avaliação utilizado foi o proposto por Karlen & Stott (1994). Observou-se que o sistema de manejo adotado para o fumo melhorou os indicadores pH, V, m, Ds, K_o e UV_{33KPa}/PT , em relação ao sistema de uso sob mata nativa, na profundidade de 0,00 – 0,20 m, o que resultou em valores de IQS muito próximo entre os sistemas avaliados, enquanto que em subsuperfície o IQS foi maior para a condição de mata.

Palavras-chaves: Solos coesos, manejo do solo, fumo.

QUALITY INDEX TO A TYPICAL COHESIVE YELLOW ARGISSOL CULTIVATED WITH TOBACCO

ABSTRACT: The establishment of criterials and methodologies for evaluating and monitoring the effects of the human activities on the environment is very important to achieve sustainable development. Thus, the aim of this paper is evaluate the effects of the use and management systems on soil quality index. The study was developed in the cities of Cruz das Almas and Governador Mangabeira, State of Bahia, Brazil, in a natural reserve area, used as reference, and in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) crop area, respectively. The soil samples were collected with a regular distance of 10 m, in a transect of 50 m, in depths of 0,00 - 0,20; 0,20 - 0,30 and 0,30 - 0,40 m and to determinate the soil quality index were considered three main functions with their respective indicators: a) root growth in depth/bulk density, soil resistance to root penetration, macroporosity and Aluminum saturation (m%); b) conduction and water storage/saturated hydraulic conductivity (k_0), UV_{33KPa}/PT and AD/PT and c) nutrients supply/pH, CTC, V% and MO. It was used the soil quality index model proposed by Karlen & Stott (1994). The management system for tobacco improved the soil quality indicators pH, V, m, D_s , K_o e UV_{33KPa}/PT , compared with the natural reserve, in depth 0,00 – 0,20 m, resulting in very close values of soil quality index in both use systems, while in subsurface the IQS was higher in the natural reserve.

Key words: Cohesive soil, soil management, tobacco.

INTRODUÇÃO

Sabe-se que os diversos sistemas de uso e manejo existentes podem ter tanto efeitos positivos quanto negativos na qualidade do solo. As melhorias conferidas pelas práticas de manejo incluem o aumento do teor de nutrientes do solo, a disponibilidade de ar e água e o aumento do teor de matéria orgânica. Por outro lado, a degradação provocada pelo uso resulta na quebra de agregados, na compactação, depleção da matéria orgânica, de nutrientes e na acidificação (Burger & Kelting, 1999).

Um solo estruturalmente estável, manejado corretamente, de forma que aumente ou conserve a sua qualidade, não somente irá aumentar a produtividade das culturas, melhorando os níveis de emprego e renda no meio rural, como também contribuirá para manter a qualidade ambiental (Kennedy & Papendick, 1995). De acordo com Silva et al. (2006) a estrutura de um solo funcional se caracteriza pela ocorrência de grandes agregados estáveis, do que resultam entre eles poros grandes, que permitem a livre passagem de ar e água e por onde as raízes das plantas facilmente encontram caminhos para o crescimento. Em oposição, solos com estrutura deficiente, adensados ou compactados, impõem restrições ou mesmo impedimento aos processos de transferência de energia e materiais em seu corpo, influenciando negativamente a velocidade de infiltração da água no solo, favorecendo o acúmulo na superfície, provocando o escoamento, que pode levar a erosão.

O preparo do solo, da forma tradicional e mais comum, com a utilização de implementos de discos, resulta na formação de camadas compactadas, reduzindo a estabilidade dos agregados e propiciando o aparecimento, em maior número, de microporos, aumentando a propensão à perda de solo por erosão, além de aumentar a resistência à penetração de raízes, o que afeta sua distribuição, crescimento e absorção de nutrientes pelas plantas. (Souza, 1988; Kirkegaard et al., 1993; Rosolem et al., 1998).

O desenvolvimento de estratégias de manejo do solo com vistas a minimizar estes problemas nos sistemas de cultivo é preocupação dos pesquisadores dos EUA e Canadá desde os anos 20 (Blevins & Frye, 1993). No Brasil, somente a partir dos anos 70, começou – se a pensar na difusão de manejos alternativos ao sistema convencional (IPEF, 2004). Desde então, muitas

alternativas têm sido propostas para amenizar o processo de degradação do solo. Dentre elas, o monitoramento ou avaliação da qualidade do solo, através de metodologias que quantificam e qualificam as condições estruturais do mesmo nos vários sistemas de manejo (Silva & Ribeiro, 1992; Araújo et al., 1998; Sanches et al., 1999; Souza, 2005).

O tabaco (*Nicotiana tabacum*) pertence à família das Solanáceas. É uma planta anual, herbácea, com folhas viscosas, macias e largas, sendo esta a única parte da planta de importância comercial. Apresenta um sistema radicular vigoroso nos primeiros 0,20 m de profundidade, o qual é responsável por sustentar uma enorme área foliar por um curto período de tempo. É uma cultura que exige revolvimento da camada superficial do solo para facilitar a entrada, transmissão e armazenamento de ar e água no mesmo e, assim, criar condições físicas adequadas a germinação das sementes e desenvolvimento das raízes das plantas. Exige também a erradicação de ervas daninhas para evitar competição por água, nutrientes e luz. Por tanto, trata-se de uma lavoura que requer a movimentação excessiva do solo, a qual é realizada, basicamente, com aração para o corte, elevação, inversão e queda, com um efeito de esboroamento de fatias de solo denominadas de leivas. A grade complementa esse trabalho, diminuindo o tamanho dos torrões na superfície, além de nivelar o terreno. Tal prática pode acarretar sérios problemas com o passar dos anos, principalmente se não for feita com critério.

Sabe-se ainda, que uma boa aeração, suprimento de água e nutrientes são os requisitos básicos para promover o adequado desenvolvimento da cultura do fumo, com reflexos no crescimento e na produtividade da cultura, e consequências no gosto, sabor e queima do fumo, fatores que interferem na qualidade do produto final.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito do sistema de uso e manejo no índice de qualidade do Argissolo Amarelo Distrocoeso típico cultivado com fumo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na região do Recôncavo Baiano, nos municípios de Cruz das Almas e Governador Mangabeira, em uma altitude média de 200 m, precipitação pluviométrica média anual de 1.170 mm, com variações entre 900 e 1.300 mm, sendo os meses mais chuvosos, de março a agosto, e os mais secos, de setembro a fevereiro (Ribeiro, 1998). Para as duas áreas o relevo é plano e o clima predominante, segundo a classificação de Kooppen, é do tipo Am, caracterizado por clima de bosque chuvoso quente e úmido e temperatura média de 25 °C. o solo classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (PA_{dx}).

No município de Cruz das Almas, BA, as amostras de solo foram coletadas em uma reserva biológica municipal, remanescente de Mata Atlântica, considerada como referência em relação a área de cultivo com o fumo. As coordenadas geográficas são: 12° 40' 19" de latitude sul e 39° 06' 22" de longitude oeste e o solo foi classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (PA_{dx}). No município de Governador Mangabeira – BA, a coleta foi feita em uma área cultivada com a cultura do fumo pela “Danco Comércio e Indústria de Fumos LTDA”, localizada na fazenda Capivarí, cujas coordenadas geográficas são: 12° 36' 00" de latitude Sul e 39° 02' 00" de longitude oeste e o solo classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (PA_{dx}). Nesta área o preparo do solo é anual, feito com duas arações com arado de disco mais duas gradagens. O plantio é feito em sulcos e o cultivo com o uso de cultivadores de tração animal. No intervalo entre uma safra e outra, a área é mantida com capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf), pastejada com gado de corte.

As amostras foram coletadas em transectos de 50 m, espaçadas de 10 em 10 m, totalizando cinco pontos de amostragem. Em cada ponto foram retiradas, amostras deformadas e indeformadas em três profundidades: 0 - 0,20; 0,20 - 0,30 e 0,30 – 0,40 m. Para a coleta das amostras indeformadas foi utilizado o extrator de solos tipo Uhland (Bravifer) e para as deformadas, amostrador pedológico, tipo sonda.

Para determinação do índice de qualidade do solo foram avaliados 11 (onze) indicadores: macroporosidade, densidade do solo, condutividade hidráulica no solo saturado, relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total (UV_{33kPa}/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). Os métodos utilizados foram: porosidade total, macro e micro e densidade do solo (Embrapa,1997); retenção de água em câmaras de pressão de Richards (Kiehl, 1979); condutividade hidráulica no solo saturado pelo método do permeâmetro de carga decrescente (Libardi, 2000); pH, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e saturação por alumínio (Embrapa, 1997); e matéria orgânica (Walkley & Black, 1937), descrito em Raji & Quaggio (1983). 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, conforme Beutler et al. (2001). Objetivando padronizar as medidas de resistência à penetração para uma mesma unidade, neste caso retida na tensão de 100 kPa, medidas de resistência à penetração (RP) e umidade gravimétrica (U_g) 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 U_g e equações de regressão (Busscher et al., 1977) foram ajustadas, sendo possível obter-se o valor da RP para 100 kPa.

O modelo de avaliação do índice de qualidade do solo utilizado foi o proposto por Karlen & Stott (1994). O sistema é aditivo e está relacionado a quatro funções principais do solo: (1) permitir a entrada de água, (2) facilitar a transferência e a absorção de água no solo, (3) resistir a degradação e (4) promover e sustentar o crescimento de plantas. A estas funções são atribuídos pesos e integradas conforme a seguinte expressão:

$$q(FP) = I_1 \times W_1 + \dots + I_n \times W_n \quad (1)$$

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. 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 mesma. Da mesma forma que para as funções principais, pesos numéricos devem ser atribuídos para os indicadores e o somatório geral dos pesos dos indicadores em cada nível deve ser 1,0 (um). Após identificar as funções principais, seus indicadores e respectivos pesos 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:

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

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 (1993), primeiro é preciso calcular a inclinação da tangente da curva de pontuação no valor crítico do indicador. Neste processo geram-se três funções típicas de padronização (Figura 1).

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).

As curvas de padronização do tipo “mais é melhor” possuem 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 1a); curvas de “valor máximo” possuem inclinação positiva até o valor máximo 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 1b). As curvas de padronização do tipo “menos é melhor” possuem 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 1c).

Para este estudo foram utilizados os mesmos indicadores estabelecidos por Souza et al. (2003) e apenas os ponderadores das funções foram ajustados para a cultura do fumo. Assim, foram definidas três funções principais, seus respectivos indicadores de qualidade e ponderadores, como pode ser observado no quadro 1. Os valores encontrados em cada função principal foram multiplicados pelo seus respectivos ponderadores, determinando - se assim, o índice de qualidade do solo (*IQS*), conforme equação 4.

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

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 estão descritos os

indicadores químicos e físicos utilizados para a determinação do índice de qualidade do solo (IQS) e suas respectivas funções. Os resultados foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de significância.

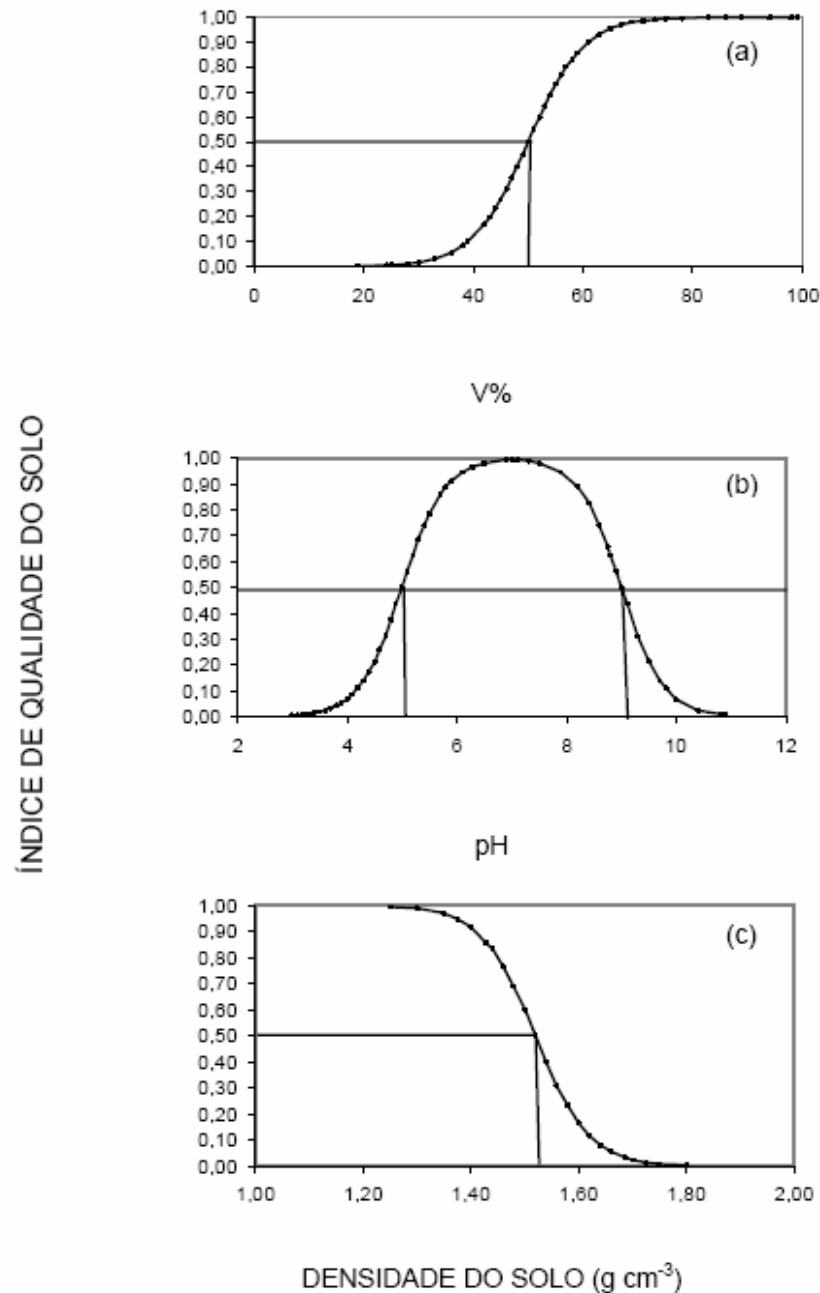


Figura 1. Funções típicas de padronização para a equação de Wymore (1993) (a) “Mais é Melhor”, (b) “Valor Máximo” e (c) “Menos é Melhor”. Fonte: Karlen e Stott (1994).

Quadro1. Funções principais e indicadores utilizados para avaliação da qualidade de um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico em dois sistemas de uso: Mata natural e Fumo

Funções Principais	Ponderadores das funções	Indicadores de qualidade (*)	Ponderadores dos Indicadores	Limites Críticos		Referências dos Limites Críticos
				Inferior	Superior	
Crescimento radicular em profundidade (CRP)	0,20	RP _{100 kPa} (MPa)	0,40	2,00		Taylor et. al. (1966)
		MP (m ³ m ⁻³)	0,30	0,10	0,30	Carter (2002)
		Ds (Kg dm ⁻³)	0,10	1,59		Souza et al. (2003)
		m (%)	0,20	50		Lepsch (1983)
Condução e Armazenamento de água (CAA)	0,40	K _o (cm h ⁻¹)	0,20	2,00	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)	0,40	pH em água	0,10	5,0	6,5	Alvarez et al. (1999)
		CTC (cmol _c dm ⁻³)	0,40	4,0		Lepsch (1983)
		V (%)	0,20	50		Lepsch (1983)
		MO (g Kg ⁻¹)	0,30	15		C.E.F Solo (1989)

(*)RP100kPa = resistência à penetração a 100kPa; MP = macroporosidade do solo; Ds = densidade do solo; m = saturação por alumínio; K_o = condutividade hidráulica do solo saturado; UV_{33kPa}/PT = relação umidade volumétrica retida a 33 kPa/porosidade total; AD/PT = relação água disponível /porosidade total; CTC = capacidade de troca catiônica; V%= saturação por base; e MO = matéria orgânica. Fonte: Modificado de Souza et. al. (2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (PAdx) cultivado com o fumo apresenta - se com acidez média (Avarez et al., 1999) nas três profundidades avaliadas (Quadro 2). No entanto, apenas na camada superficial (0,00 - 0,20 m), o solo encontra-se com valor de pH considerado satisfatório (6,0) para manter um ambiente adequado ao crescimento radicular e assegurar a produtividade da cultura (CQFS, 2004). De acordo com Rheinheimer et al. (2000), enquanto existirem cátions de reação ácida da solução do solo, a reação de neutralização da acidez ficará limitada à camada superficial, retardando o efeito em subsuperfície e, para que ocorra a neutralização da acidez em profundidade, os produtos da dissociação do calcário têm de ser arrastados para camadas inferiores. Portanto, mesmo com a existência da neutralização da acidez pelo uso de calagem superficial anual para implantação do fumo, a acidez na subsuperfície, conforme verificado, pode impedir o aprofundamento das raízes da cultura, reduzindo a superfície de absorção e diminuindo o acesso aos nutrientes. Confirmando o efeito descrito por Rheinheimer et al. (2000) verifica-se que a saturação por bases na camada 0,00 - 0,20 m encontra-se acima de 70% e saturação por alumínio inferior a 5%, o que também confirma a relação esperada entre pH, saturação por bases e Al trocável. Os resultados indicam que a camada 0,20 - 0,30 m apresenta uma situação semelhante à camada 0,30 - 0,40 m, porém, esta se apresenta com saturação por Al maior que 10%, que embora seja baixa (Avarez et al., 1999), caracterizaria uma possível barreira química a expansão do sistema radicular da cultura do fumo, como observado por Kang & Yunusa (1977) em solos sob plantio direto. Porém por tratar-se de uma cultura irrigada, sob condições de boa disponibilidade de água, cujo sistema radicular concentra-se, basicamente, na camada superficial, a produtividade pode não ser afetada por esta limitação.

O teor de matéria orgânica do solo e os valores de CTC, na camada superficial, foram considerados baixos (Avarez et al., 1999), tendendo a redução em profundidade (Quadro 2). Isto, possivelmente, é acentuado pelo preparo do solo, cujo revolvimento é intenso, pelas operações anuais de aração e gradagem, o que favorece a decomposição da matéria orgânica, mesmo havendo o aporte de

Quadro 2. Características químicas do Argissolo Amarelo Distrocoeso típico, sob cultivo com a cultura do fumo

Prof	pH	Ca	Mg	K	Al	H	S	CTC	V	m	MO
m	cmol _c dm ⁻³							%		g Kg ⁻¹	
0,00 - 0,20	6,01	1,44	1,10	0,17	0,12	0,61	2,77	3,48	79,61	4,28	17,98
0,20 - 0,30	5,78	1,16	1,14	0,11	0,18	0,94	2,46	3,57	69,29	6,94	13,09
0,30 - 0,40	5,50	1,20	1,08	0,09	0,29	0,63	2,42	3,33	72,09	11,25	11,73

material vegetal pela cobertura do capim *Braquiaria decumbens* Stapf, nos períodos entre cultivos. Além disso, os resíduos superficiais são eliminados, as entrelinhas são mantidas constantemente nuas e ficam totalmente descobertas, justificando o resultado verificado para o conteúdo de MO do PAdx sob o cultivo com o fumo.

Função Crescimento Radicular em Profundidade (CRP)

Dentre os indicadores físicos para a função CRP a densidade do solo (D_s) apresentou valores superiores ao limite crítico de $1,59 \text{ Kg dm}^{-3}$ em todas as profundidades avaliadas na área de cultivo com o fumo (Quadro 3). Em condições naturais, na mata, este mesmo indicador apresentou valores diferentes e menores que os verificados para o fumo, ficando também abaixo do limite crítico, nas camadas mais inferiores. A maior D_s na área de cultivo com o fumo está relacionada com a compactação do solo pelo tráfego de máquinas e implementos, haja vista que a área recebe 02 arações e 02 gradagens ao ano, além do pastejo de animais no intervalo entre uma safra e outra, confirmando os efeitos do sistema de manejo neste indicador de qualidade conforme também verificado por Sanches et al. (1999). A macroporosidade (MP) também foi influenciada pela compactação do solo e conseqüente aumento da densidade, se apresentando com valores significativamente menores em profundidade, no entanto acima do limite crítico inferior estabelecido para este indicador ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Resultados semelhantes foram observados por Silva & Ribeiro (1992) em solo cultivado com cana de açúcar.

Os valores observados para resistência a penetração ($RP_{100\text{kPa}}$) foram significativos e maiores que o limite crítico (2,0 MPa), reforçando o efeito do tráfego intenso das máquinas para preparo do solo no aumento da densidade, redução da macroporosidade e resistência à penetração de raízes. O único indicador químico da função, a saturação por Al (m%), apresentou valores menores que 10% nas profundidades superficiais, se apresentando menor que o limite crítico inferior em todos os pontos amostrados e, portanto, não oferece limitação a expansão do sistema radicular do fumo.

Considerando-se que estas relações refletem, principalmente, as condições físicas do solo, pode-se inferir que o PAdx oferece restrições em profundidade

para o desenvolvimento das raízes da cultura do fumo com reduzida superfície de absorção e acesso limitado aos nutrientes. Em condições naturais, em função do maior aporte de restos vegetais, o PAdx apresentou teor de matéria orgânica maior que o limite crítico em todas as profundidades, ofereceu menor resistência à penetração de raízes e maior retenção e disponibilidade de água para as plantas.

Função Condução e Armazenamento de Água (CAA)

A função condução e armazenamento de água (CAA), que envolve apenas indicadores físicos, apresentou resultados satisfatórios na área de cultivo, demonstrando que o manejo aplicado na condução da lavoura do fumo contribuiu para melhoria da retenção e do movimento da água no perfil.

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) é moderada e não diferiu estatisticamente em profundidade na área de cultivo. No entanto, os valores observados estiveram abaixo do limite crítico superior de 20 cm h^{-1} , principalmente na profundidade 0,20 - 0,30 m cujo valor de K_o está muito próximo da classe lenta de permeabilidade (Lepsch, 1983) (Quadro 3). Ao contrário, na área de mata natural, os valores encontrados de K_o foram bem superiores e estatisticamente diferentes em relação à área de fumo, nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,30 m. Na profundidade de amostragem de 0,30 - 0,40 m, esse indicador apresentou-se com valores estatisticamente iguais nas duas situações de uso, indicando ainda uma significativa redução na capacidade do solo para conduzir água, o que na área de fumo pode ser atribuído ao aumento da densidade do solo.

Para os indicadores, UV_{33kPa}/PT , e, AD/PT , não foram constatadas diferenças significativas entre os pontos amostrados na área de mata natural, os quais apresentaram-se com valores médios abaixo do limite crítico em todas as profundidades estudadas. No entanto, na área de cultivo com o fumo, estes indicadores foram diferentes e apresentaram valores menores que o limite crítico inferior em todos os pontos amostrados, indicando que mesmo com o aumento da densidade do solo e redução da porosidade causados pelo tráfego intensivo de máquinas e manejo do solo sob condições de umidade inadequada ou ainda, advindas do sistema de cultivo utilizado anteriormente, a área se encontra em

Quadro 3. Indicadores de qualidade para um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico sob dois sistemas de uso e manejo

SISTEMAS DE USO E MANEJO	FSN				FCRP				FCAA			
	pH	CTC	V	MO	m	Ds	RP _{100kPa}	MP	UV _{33kPa} /PT	AD/PT	K ₀	MP
	-	cmol _c dm ⁻³	%	g kg ⁻¹	%	g cm ⁻³	MPa	m ³ m ⁻³	-	-	cm h ⁻¹	m ³ m ⁻³
0,00 - 0,20 m												
MATA NATURAL	3,88a	7,66b	32,53b	28,83b	23,03b	1,67b	0,78a	0,28b	0,32a	0,08b	47,01b	0,28b
FUMO	6,01b	3,48a	79,60a	17,98a	4,27a	1,61a	2,70b	0,15a	0,43b	0,05a	12,78a	0,15a
0,20 - 0,30 m												
MATA NATURAL	3,78a	5,80b	21,87a	19,19b	40,63b	1,56a	0,89a	0,20b	0,32a	0,08b	33,63b	0,20b
FUMO	5,78b	3,57a	69,28b	13,08a	6,94a	1,63a	2,90b	0,13a	0,44b	0,06a	15,29a	0,13a
0,30 - 0,40 m												
MATA NATURAL	3,75a	5,25b	19,23a	15,02a	49,47a	1,52a	0,89a	0,12a	0,33a	0,07b	8,53a	0,12a
FUMO	5,50b	3,33a	72,08b	11,73a	11,24b	1,68b	2,36b	0,14a	0,52b	0,04a	5,31a	0,14a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%. FSN = Função Suprimento de Nutrientes, FCRP = Função Crescimento Radicular em Profundidade, FCAA = Função Condução e Armazenamento de Água.

condições de promover e manter o rendimento da cultura quanto a disponibilidade de água.

Função Suprimento de Nutrientes (SN)

Esta é a função que mais sofre alterações em áreas de cultivo, principalmente quando se trata de uma cultura como o fumo, que para ser produzida com qualidade e quantidade, se faz necessário o uso de corretivos e fertilizantes em quantidades suficientes, no momento e local apropriado. Na avaliação dos indicadores da função, observou-se que os valores de pH estão próximos da condição ideal para a cultura do fumo, principalmente na profundidade 0,00 – 0,20 m. Neste caso, as formas trocáveis e polímeros parcialmente hidrolizados de Al transformam-se em $Al(OH)_3$, o qual por estar na forma neutra e insolúvel, tem sua atividade drasticamente diminuída e por isso não afeta o desenvolvimento das plantas. O pH é um indicador de suma importância para o estabelecimento da cultura do fumo. Ele influencia a disponibilidade dos nutrientes, permitindo que a adubação mineral seja adequadamente aproveitada pelas plantas. Com o aumento do pH verificou-se também, o surgimento de cargas negativas, o que contribui para aumentar a saturação por bases, que apresentou-se elevada ou “boa” segundo os critérios de Álvares et al. (1999), conferindo a área de cultivo com o fumo o caráter eutrófico, nas três profundidades. Esses resultados diferiram significativamente daqueles encontrados na mata, cuja saturação por bases foi sempre inferior a 50%, indicando que o PAdx sob mata natural, apresenta-se distrófico e com limitações quanto a retenção e oferta de nutrientes, sendo esta uma melhoria para o funcionamento do solo determinada pelo uso agrícola, neste caso, o fumo.

Na área de uso com o fumo a CTC foi baixa (Álvares et al., 1999), não diferiu significativamente em profundidade e foi bem inferior que na condição de mata natural, ficando abaixo do nível crítico em todos os pontos amostrados, o que contribuiu para que apresentasse escores padronizados baixos, confirmando a condição de indicador limitante do PAdx, para a produção agrícola. Nos solos tropicais a CTC está diretamente relacionada com a qualidade das argilas e com o teor de matéria orgânica do solo, sendo, pois, necessário melhoria nos níveis de MO encontrados, cujos valores na área do fumo foram bem inferiores aos da

mata. Outra influência fundamental da matéria orgânica é a agregação das partículas do solo, cujo efeito positivo também influencia os indicadores como a densidade, a porosidade e a capacidade de retenção e infiltração de água, que são fundamentais ao bom funcionamento do solo (Bayer & Mielniczulk, 1999).

Índice de Qualidade do Solo (IQS)

A padronização dos valores observados para obtenção do índice de qualidade do solo através dos indicadores selecionados, mostrou que apenas a função suprimento de nutrientes (SN) diferiu significativamente em profundidade, nos dois sistemas de manejo estudados (Quadro 4), apresentando melhores resultados para o ponto de amostragem de 0,20 m, principalmente no solo sob cultivo com o fumo, onde os indicadores pH e saturação por bases (V%) apresentaram escores padronizados muito próximos de 1. Os valores médios observados para função crescimento radicular em profundidade (CRP) foram bem melhores no solo de mata natural, resultado atribuído principalmente aos indicadores RP, MO e MP que contribuíram efetivamente para melhorar o índice da função. A função condução e armazenamento de água (CAA) apresentou melhores resultados na área cultivada, demonstrando que as alterações decorrentes do manejo físico aplicado no cultivo do fumo, ao contrário do que normalmente ocorre, contribuíram para melhoria dos escores padronizados dos indicadores, K_0 , MP e UV_{33kPa}/PT , refletindo positivamente na retenção e movimento da água no perfil, em relação a condição verificada na mata natural.

O solo sob cultivo com o fumo apresentou um valor de índice de qualidade acima de 0,5 para o ponto de amostragem de 0,20 m, reduzindo em profundidade. Segundo Karlen & Stott (1994), estes resultados inferem um índice de qualidade ótimo ($IQS \geq 0,50$) ao PAdx . Entretanto, Souza (2005) propõe uma subdivisão em três níveis: $IQS \leq 0,50$ ruim; IQS entre 0,51 a 0,70 média; $IQS \geq 0,71$ ótima, conferindo a esta classe de solo sob cultivo com o fumo um índice médio de qualidade do solo.

Quadro 4. Índice de qualidade para um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico, em três profundidades, sob dois sistemas de uso e manejo

Prof (m)	Funções Principais			Índice Global
	FCRP	FCAA	FSN	IQS
Mata Natural				
0,00 - 0,20	0,32a	0,07a	0,14c	0,55ab
0,20 - 0,30	0,34a	0,10a	0,12b	0,57b
0,30 - 0,40	0,31a	0,09a	0,09a	0,50a
Fumo				
0,00 - 0,20	0,10a	0,15a	0,28b	0,53b
0,20 - 0,30	0,09a	0,11a	0,20a	0,40a
0,30 - 0,40	0,09a	0,12a	0,17a	0,40a

FCRP = Função Crescimento Radicular em Profundidade, FCAA = Função Condução e Armazenamento de Água, SN = Função Suprimento de Nutrientes e IQS = Índice de qualidade do solo. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade.

CONCLUSÃO

O sistema de manejo adotado para o fumo melhorou os indicadores pH, V%, m%, Ds, K_o e UV_{33KPa}/PT, em relação ao sistema de uso sob mata nativa, na profundidade de 0,00 - 0,20 m, o que resultou em valores de IQS muito próximo entre os sistemas avaliados, enquanto que em subsuperfície o IQS foi maior para a condição de mata.

LITERATURA CITADA

- ARAÚJO, G.M. & HARIDASAN, M. A comparison of the nutritional status of two forest communities on mesotrophic and dystrophic soils in Central Brazil. *Soil Sci. Plant. Anal.*, 19:1075-1089, 1988.
- ARCHER, J.R. & SMITH, P.D. The relation between bulk density, available water capacity, and air capacity of soils. London, *Journal of Soil Science*, 23:475-480, 1972.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O, eds. *Fundamentos da matéria orgânica do solo. ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.9-26.
- 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.
- BURGER, J. A. & KELTING, D. L. Using soil quality indicators to assess forest stand management. *Forest Ecology and Management*, 122:155-166, 1999.
- 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 Till. Res.*, 43:205-217, 1977.
- BLEVINS, R.L. & FRYE, W.W. Conservation tillage: An ecological approach to soil management. *Advance in Agronomy*, 51:33-78, 1993.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400p.
- DIAS, R.C. dos S. Qualidade do solo e desenvolvimento radicular de citros em Latossolo Amarelo coeso sob diferentes sistemas de manejo. Cruz das Almas, Universidade Federal da Bahia, 2006. 54p. (Tese de Mestrado)

- DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M. & LIEBIG, M.A. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1996. (Special publication, 35)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.
- 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. *Agriculture, Ecosystems and environment*, 80:29-45, 2000.
- IPEF. Ciência e tecnologia no setor florestal brasileiro: diagnóstico, prioridades e modelo de financiamento: silvicultura e manejo. Piracicaba, 2004.
- KANG, B. T. & YUNUSA, M. Effect of tillage methods and phosphorus fertilization on maize in the humid tropics. *Agronomy Journal*, 69:291-294, 1977.
- KARLEN, D. L. & STOTT, D.E. A framework for evaluating physics and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W, et al. ed. Defining soil quality for a sustainable environment, Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of American, 1994. p.53-71.
- KENNEDY, A. C. & PAPENDICK, R. I. Microbial characteristics of soil quality. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, 50:243-248, 1995.
- KIRKEGAARD, J. A.; SO, H. B. & TROEDSON, R. J. Effect of compaction on the growth of pigeon pea on clays soils. III. effect of soil type and water regime on plant response. *Soil and Till. Res.*, Amsterdam, 26:163-178, 1993.
- KIEHL, E. J. Manual de edafologia. São Paulo: Agronômica “Ceres”, 1979. 262p.
- LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. 2. ed. Piracicaba, O autor. 2000, 509 p.

- MALLIK, A.V.; GIMINGHAM, C.H. & RAHMAN, A.A. Ecological effects of heather burning. I. Water infiltration, moisture retention and porosity of surface soil. *Journal of Ecology*, Oxford, 72:767-776, 1984.
- MELO FILHO, H. F. R. & ARAÚJO FILHO, J. O. Descrição de perfil. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas, 1984. Anais. Cruz das Almas, EAUFBA/GVFBA; EMBRAPA/CNPMF, 1996. p. 7 - 10.
- MORAES, A. de. Pastagem como fator de recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGEM, 2., Jaboticabal, 1993. Anais. Jaboticabal, 1993. p.191-215.
- RAIJ, B. V. & QUAGGIO, J. A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônômico, 1983. 31 p.
- RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L.C. & BORTOLUZZI, E.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:797-805, 2000.
- ROSOLEM, C.A.; SCHIOCHET, M.A.; SOUSA, L.S. & WITACKER, J.P.T. Root growth and cotton nutrition as affected by liming and soil compaction. *Soil Sci. Plant. Anal.*, New York, 29:169-177, 1998.
- SANCHES, A.C.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. & RIGOLIN, A.T. Impacto do cultivo de citros em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um podzólico vermelho-amarelo. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, 23:91-99, 1999.
- SILVA, L. F. S. da ; WEILL, M. A. M. ; MARQUES, S. R. ; LUCARELLI, J. R. de F. & MATSURA, E. E. . Efeitos do sistema de manejo na qualidade física do solo e na produtividade do milho em Latossolo Vermelho Distroférico.. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., Aracaju, 2006. Anais. Aracaju, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.1-4.

- SILVA, M. S. L. & RIBEIRO, M. R. Influência do cultivo contínuo da cana de açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiros no estado de Alagoas. R. Bras. Ci. Solo, 16:397-402, 1992.
- SOUZA, A.L.V. Avaliação da qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. Cruz das Almas, Universidade Federal da Bahia, 2005. 95p. (Tese de Mestrado)
- SOUZA, C. M. Efeito do uso contínuo de grade pesada sobre algumas características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, fase cerrado, e sobre o desenvolvimento das plantas e absorção de nutrientes pela cultura de soja. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 105p. (Tese de Mestrado)
- 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, 1: 3 - 11, 1983.
- WYMORE, A.W. Model-based systems engineering: An introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricotyledon theory of system design. CRC Press, Boca Raton, FL, 1993.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conceito de qualidade do solo surgiu no final da década de 70 e durante muitos anos esteve associado a fertilidade. Evoluiu nos últimos 10 anos, e, num entendimento mais amplo, percebe-se que não basta apenas o solo apresentar alta fertilidade, mas, também, possuir boa estruturação e condições adequadas para o desenvolvimento e permanência de uma cultura. Dessa forma, a qualidade do solo influencia o potencial de uso, a produtividade e a sustentabilidade global dos agroecossistemas, sendo seu estudo necessário para fornecer informações sobre o manejo do solo e assegurar a tomada de decisões para uma melhor utilização desse recurso.

A indagação de como avaliar a perda de qualidade de um determinado solo em função do manejo agrícola é antiga, controversa e pertinente. A resposta mais adequada parece ser a utilização de características ou indicadores que sejam indicativas do estado de qualidade do solo. O uso de metodologias específicas para esse objetivo vêm tendo um avanço muito grande. Porém, embora muitos esforços tenham sido empregados e resultados obtidos, existem ainda limitações que dificultam a correlação dos diversos indicadores com o conceito de qualidade do solo. Limitações essas, muitas vezes relacionadas à compreensão dos métodos de avaliação e escolha de indicadores. É necessário, portanto, aplicações destas metodologias para validação e melhor entendimento dos resultados obtidos e assim, discutir com aplicabilidade a real qualidade do solo para os mais diversos usos.

ANEXOS

PERFIL DA MATA

Data: 23.10.1984

CLASSIFICAÇÃO*: Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (Padx)**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 Floresta Primária.**DESCRITO E COLETADO**: Melo Filho, H. F. R. & Araújo Filho, J. O. SNLCS/EMBRAPA (Não publicado). * Reclassificado com base no Sistema Brasileiro de Classificação do solo de 2007.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O/A** 0-2 cm; constituído por folhas em decomposição.
- A₁** 0-7 cm; bruno (10YR 5/3, seco); bruno amarelo escuro (10 YR 4/4, seco triturado), bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3,5/2); bruno escuro (10 YR 4/3, úmido amassado); franco-argilo-arenoso; moderada média a grande granular e grãos simples; ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.
- A₂** 7-21 cm; amarelado (10 YR 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 (16-26 cm) e clara.
- AB₁** 21-38 cm; bruno amarelado (10YR 5/4, seco) e bruno amarelado escuro (10YR 4/4 úmido); franco argilo-arenoso; fraca pequena e média blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso, transição plana e difusa.
- AB₂** 38-56 cm; bruno amarelado (10YR 5/4, seco) e bruno amarelado escuro (10YR 4/4 úmido); franco argilo-arenoso; fraca pequena e média blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso, transição plana e difusa.
- BA** 56-85 cm; bruno amarelado (10YR 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 gradual.
- Bw₁** 85-130 cm; bruno amarelado (10YR 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** 130-220 cm+; bruno amarelado (10YR 5/8, úmido) argila; fraca pequena e média em blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso.

RAIZES: 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 do AB_1 .

PERFIL FUMO**DATA: 18.10. 2006****CLASSIFICAÇÃO:** Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (PAdx)**LOCALIZAÇÃO:** Fazenda Capivarí - DANCO**SITUAÇÃO E DECLIVE:** Área plana**COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:** Pastagem.**LITOLOGIA E CRONOLOGIA:** Formação barreiras terciário.**MATERIAL ORIGINÁRIO:** Produto de alteração do material supracitado**PEDREGOSIDADE:** Ausente.**ROCHOSIDADE:** Ausente.**RELEVO LOCAL:** Plano**RELEVO REGIONAL:** Suave ondulado**EROSÃO:** Não aparente.**DRENAGEM:** Boa.**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA:** Floresta subperenifólia**USO ATUAL:** Pastagem.**DESCRITO E COLETADO:** José Fernandes de Melo Filho

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A₁** 0-3 cm; bruno amarelo escuro (10YR 3/6, úmido) e bruno amarelo escuro (10 YR 4/4, seco), franco arenoso; moderada, pequena granular; macia, solta; não plástico; transição plana e clara.
- A₂** 3-25 cm; bruno amarelo escuro (10YR 3/6, úmido) e bruno amarelo escuro (10 YR 4/4, seco), franco arenoso; moderada, muito pequena, blocos angulares; ligeiramente dura, solta; não plástico; transição ondulada e clara.
- AB** 25-80 cm; bruno amarelado (10YR 4/4, úmido) e bruno amarelado (10YR 5/4 seco); franco argilo-arenoso; fraca pequena, blocos angulares; dura, solta; transição plana e difusa.
- BA** 80-91 cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/4, úmido) e bruno amarelado escuro (10YR 4/6 seco); argilo-arenoso; fraca muito pequena, granular; solto, transição plana e clara.
- Bw** 91-150 cm+; bruno amarelado escuro (10YR 4/6, úmido) e bruno amarelado escuro (10YR 4/6 seco); argilo-arenoso; fraca, muito pequena, granular; macia, solto.

OBSERVAÇÕES:

- Evidência de atividades biológicas formando bioporos e agregados.

**Resultado de análises físicas e químicas para um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico em dois sistemas de uso:
Mata natural e Fumo**

Horizonte	pH	K	Ca	Mg	Al	H	Na	S	CTC	V	Areia	Silte	Argila	
Símbolo	Prof (cm)	cmol _c dm ⁻³								%				
MATA NATURAL														
O/A	0-2	5,40	0,74	8,00	2,60	0,50	6,90	0,21	11,6	12,10	61	63	16	21
A1	07	4,40	0,14	1,50	0,30	0,50	3,90	0,06	2,00	2,50	31	72	7	21
A2	7-21	4,10	0,04	0,00	2,00	0,70	1,90	0,02	0,30	1,00	10	73	5	22
AB	21-56	4,20	0,04	0,00	2,50	0,85	2,00	0,02	0,25	1,10	8,5	68	6	26
BA	56-85	4,30	0,02	0,00	1,00	1,20	2,30	0,02	0,10	1,30	3	56	6	38
Bt	85-220	4,50	0,01	0,00	2,50	1,00	1,60	0,03	0,30	1,30	10	48	6	46
FUMO														
A	0-3	5.40	0,17	1,40	0,60	0,05	2,51	0,056	2,23	2,28	45	80	3	17
AB	3-25	5.50	0,14	1,40	0,90	0,03	2,81	0,032	2,47	2,50	47	75	8	17
BA	25-91	4.50	0,09	0,50	0,50	0,40	3,07	0,028	1,11	1,61	30	60	5	35
Bt	91-150	4.20	0,10	0,30	0,40	0,90	2,97	0,040	0,84	1,74	31	48	4	48