

*Campinas, SP
Novembro, 2007*

Autores

Gustavo Souza Valladares
Engenheiro Agrônomo, Dr. em Ciência do
Solo, Pesquisador da Embrapa
Monitoramento por Satélite
gustavo@cnpm.embrapa.br

Isabella Clerici De Maria
Pesquisadora do Instituto
Agrônomo de Campinas
icdmaria@iac.sp.gov.br

Carlos Fernando Quartaroli
Engenheiro Agrônomo,
Mestre em Agronomia (Solos e
Nutrição de Plantas) e pesquisador da
Embrapa Monitoramento por Satélite
quarta@cnpm.embrapa.br

Célia Regina Grego
Engenheiro Agrônomo, Dra. em Energia na
Agricultura, Pesquisadora da Embrapa
Monitoramento por Satélite.
crgrego@cnpm.embrapa.br

Otávio Antonio de Camargo
Pesquisador do Instituto Agrônomo
de Campinas e CNPq
ocamargo@iac.sp.gov.br



Índice de qualidade dos solos do Nordeste do Estado de São Paulo

Resumo

A degradação dos solos põe em risco sua capacidade produtiva e o equilíbrio dos ecossistemas. No início dos anos 1990, diante da maior conscientização da importância do solo na qualidade ambiental, intensificaram-se as discussões sobre a necessidade do conhecimento da qualidade dos solos para controlar a degradação dos recursos naturais e promover a sustentabilidade agrícola.

O objetivo deste trabalho foi gerar um índice de qualidade para solos de áreas situadas no Nordeste do Estado de São Paulo, envolvendo tanto solos sob vegetação nativa, quanto solos submetidos a diferentes usos e formas de manejo agrícolas. Os principais atributos indicadores da qualidade do solo foram levantados e avaliados conjuntamente. Os resultados demonstraram que os solos sob vegetação nativa tendem a apresentar melhor qualidade do ponto de vista físico e que os solos agrícolas apresentam-se melhores do ponto de vista químico, considerando como função do solo a sustentabilidade da produção agrícola. Em solos com agricultura convencional, agricultura irrigada, silvicultura e cafeicultura, a qualidade física do solo mostrou-se maior na camada de 0,00 m a 0,10 m de profundidade, em comparação à camada de 0,10 m a 0,20 m. Nas pastagens, a qualidade física das camadas do solo mostrou-se semelhante, provavelmente em razão da compactação superficial causada pelo pisoteio animal.

Introdução

O solo é o ambiente de interface entre a rocha, o ar e a água e está sujeito à degradação por diferentes atividades antrópicas que põem em risco sua capacidade produtiva e o equilíbrio dos ecossistemas. Entre essas atividades, a agricultura é um dos principais fatores de aceleração dos processos erosivos, principalmente quando a intensidade de exploração está acima da capacidade de suporte do solo (RANIERI et al., 1998). O conhecimento da capacidade de suporte dos solos é fundamental para a preservação dos ecossistemas e para a promoção do desenvolvimento sustentável.

Os processos erosivos identificados nas áreas agrícolas brasileiras são reflexos da erradicação da vegetação nativa nas diferentes posições da paisagem, sobretudo em áreas próximas às nascentes, nas encostas e em áreas sujeitas a inundação. O arraste do solo pela erosão leva à diminuição da produtividade agrícola e das pastagens (TENGBERG et al., 1997; SPAROVEK et al., 1991) e torna necessário elevar os investimentos na produção, entre eles, o maior uso de corretivos, fertilizantes e defensivos agrícolas. Atrelado ao processo erosivo, ocorre o rebaixamento do lençol freático nas nascentes e a contaminação dos mananciais, além de impactos sobre a flora e a fauna (BACCARO, 1999).

Os sistemas de preparo do solo, dependendo do tipo de solo, do clima, da cultura e de seu manejo, podem promover a degradação da sua qualidade física por alterações na densidade, porosidade e agregação de partículas (DE MARIA et al., 1999; TORMENA et al., 2002). A compactação causa redução da macroporosidade do solo que pode ser medida pela resistência à penetração. Essas propriedades do solo podem servir como indicadores de sua qualidade, assim como os seus teores de material orgânico (DE MARIA et al., 1999; KLUTHCOUSKI et al., 2000; VALPASSOS et al., 2001; TORMENA et al., 2002; BEUTLER, CENTURION, 2004; D'ANDRÉA et al., 2004; SECCO et al., 2004; VIEIRA et al., 2004; SOUZA et al., 2005; PILLON et al., 2006).

No início dos anos 1990, diante da maior conscientização da importância do solo na qualidade ambiental, intensificaram-se as discussões sobre a necessidade do conhecimento da qualidade dos solos (QS) para controlar a degradação dos recursos naturais e promover a sustentabilidade agrícola (HARTEMINK, 1998; VEZZANI, 2001; BOUMA, 2002).

Segundo Doran (1997), citado por Vezzani (2001), a definição de QS é: "a capacidade de um solo exercer suas funções dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade de plantas e de animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens". A maioria dos trabalhos que buscam estimar a qualidade dos solos a faz por estudos isolados dos atributos físicos, químicos, morfológicos e biológicos do solo e discute-os

separadamente. De acordo com Souza et al. (2003), o estabelecimento de um índice de qualidade do solo é necessário e importante para identificar problemas de produção nas áreas agrícolas, fazer estimativas realísticas da produção de alimentos, monitorar mudanças na sustentabilidade e qualidade ambiental em relação ao manejo agrícola e orientar políticas governamentais voltadas para o uso sustentável do solo. Barbioli et al. (2004) sugerem a criação de um índice da qualidade do solo (IQS) que leve em consideração vários atributos conjuntamente e que seja adaptável a diferentes regiões edafoclimáticas.

No trabalho de Chaer (2001) foram propostos modelos que permitem estimar os índices de qualidade sob as mais variadas condições de solo e de manejo florestal. Com modelos bem ajustados, pode-se "quantificar a qualidade", criando uma ferramenta para apontar a direção para a qual a sustentabilidade está caminhando. Os procedimentos utilizados no cálculo de índices de qualidade de solos permitem a construção de modelos, com pesos numéricos associados às funções e indicadores de qualidade do solo, que podem ser aplicados a diferentes regiões, culturas e objetivos. Após a construção de um modelo, o cálculo do índice de qualidade de uma amostra é realizado por meio do fornecimento de um conjunto de dados que estabelece os valores de cada indicador considerado.

O objetivo do presente trabalho foi gerar um índice de qualidade do solo, para solos de área situada no nordeste do Estado de São Paulo submetidos aos principais usos agrícolas e coberturas vegetais. Buscou-se efetuar o levantamento dos principais atributos indicadores da qualidade do solo e avaliá-los conjuntamente.

Materiais e Métodos

A área de interesse do presente estudo é apresentada na Figura 1. Em destaque, estão os municípios onde foram efetuadas amostragens. Mais de 70% dessa área apresenta latossolos vermelhos ou vermelho-amarelos.



Figura 1. Área de estudo com destaque dos municípios onde foram efetuadas amostras.

As amostras foram coletadas em oito locais com diferentes usos e manejos. A quantidade de amostras em cada local é apresentada na Tabela 1. Procurou-se efetuar as coletas em relevo plano ou suave ondulado.

Tabela 1. Quantidade de amostras coletadas para os diferentes usos e manejos do solo e respectivas siglas adotadas no trabalho.

Uso do solo	Manejo do solo	Número de amostras	Sigla
Agricultura anual de grãos	Não irrigada	5	AC
Agricultura anual de grãos	Irrigada	2	IRR
Cafeicultura	-	7	CAF
Cana-de-açúcar	Colhida crua	6	CAN
Cana-de-açúcar	Colhida queimada	3	CQ
Floresta Nativa	-	2	MAT
Pastagem plantada	-	7	PAS
Silvicultura	-	2	SIL

Índice de Qualidade dos Solos (IQS)

Para compor o IQS foram selecionados atributos do solo analisados por métodos de rotina utilizados na maioria dos laboratórios (EMBRAPA 1997) ou de fácil obtenção no campo.

Foram coletadas amostras deformadas com auxílio de trado entre 0,00 m e 0,10 m e entre 0,10 m e 0,20 m de profundidade para determinação da fertilidade de rotina e dos teores de carbono orgânico e micronutrientes. Para uma maior representatividade das amostras, optou-se pela coleta de amostras compostas. Todas as análises foram feitas nos laboratórios da Embrapa Meio Ambiente, segundo metodologia da Embrapa (1997).

Para determinação da densidade e da porosidade (macro e microporosidade) do solo, foram coletadas amostras com suas estruturas indeformadas, no centro dos mesmos intervalos de profundidades citados anteriormente, por meio de amostradores de anéis.

Com um penetrômetro de impacto, avaliou-se a resistência do solo à penetração conforme Stolf (1991), com dados de resistência à penetração a cada 0,10 m até a profundidade de 0,40 m. Foram feitas cinco repetições das medidas de resistência e um valor médio de cada profundidade foi utilizado para representar a parcela.

Os dados foram analisados por meio de análise de variância, considerando o uso ou o manejo agrícola como fontes de variação. Os tratamentos apresentaram números diferentes de repetições (Tabela 1).

Para a obtenção do índice de qualidade do solo (IQS), foi gerado um índice químico de qualidade do solo (IQSq) e um índice físico de qualidade do solo (IQSf).

IQSq

Para obtenção do IQSq foram utilizados os seguintes atributos dos solos: pH em água, fósforo assimilável, cobre, zinco, manganês e ferro extraídos por DTPA, potássio, cálcio, magnésio, alumínio tóxico, capacidade de troca de cátions (Valor T), soma de bases e matéria orgânica (MO) e saturação por bases (Valor V). Os valores de cada atributo químico foram padronizados em uma escala de 0 (zero) a 100 (cem), na qual valores próximos a zero indicam baixa qualidade e valores próximos a 100 indicam alta qualidade do solo. Os parâmetros utilizados na padronização dos dados, apresentados na Tabela 2, foram baseados em literatura (RAIJ et al., 1997; SANTOS et al., 2006).

Tabela 2. Atributos químicos indicadores da qualidade do solo utilizados na elaboração do IQSq e respectivos pesos, faixa de valores e valores padronizados.

Atributo do solo	Unidade	Peso	Faixa de valor	Pad.	Faixa de valor	Pad.	Faixa de valor	Pad.	Faixa de valor	Pad.	Faixa de valor	Pad.
pH em água	-	12	< 4,5	30	4,5-5,4	70	5,5-6,5	100	6,6-7,3	75	7,3-8,3	30
P	mg L ⁻¹	14	< 6	20	6-12	40	13-30	60	31-60	80	> 60	100
Cu ²⁺	mg L ⁻¹	3	< 0,2	20	0,2-0,8	50	> 0,8	100				
Zn ²⁺	mg L ⁻¹	4	< 0,5	20	0,5-1,2	50	> 1,2	100				
Mn ²⁺	mg L ⁻¹	3	< 1,2	20	1,2-5,0	50	> 5,0	100				
Fe ²⁺	mg L ⁻¹	3	< 4	20	4-12	50	> 12	100				
K ⁺	mmol _c L ⁻¹	8	< 0,7	20	0,7-1,5	40	1,6-3,0	60	3,1-6,0	80	6	100
Ca ²⁺	mmol _c L ⁻¹	8	< 3,0	20	3,0-7,0	50	7,1-15,0	90	> 15,0	100		
Mg ²⁺	mmol _c L ⁻¹	8	< 3,0	20	3,0-7,0	50	7,1-15,0	90	> 15,0	100		
Al ³⁺	mmol _c L ⁻¹	8	< 5	100	5-10	80	11-20	60	21-40,	40	41-80	20
Valor T	mmol _c L ⁻¹	4	< 50	20	50-100	40	101-150	70	> 150	100		
Valor V	%	11	< 26	15	26-50	40	51-70	70	71-90	90	> 90	100
MO	g 100g ⁻¹	14	< 1,5	20	1,5-3,0	50	3,1-6,0	90	> 6,0	100		

Pad. = valor padronizado.

Para a geração do IQSq foi utilizado o método multicritério aditivo ou média ponderada (Eq. 1) discutido em Chaer (2001), com os mesmos pesos apresentados na tabela 2 para cada atributo.

$$Ai = \sum_{k=1}^n (Pk.Nk)/100 \quad (\text{Eq. 1}), \text{ onde:}$$

Ai = amostra representando um determinado solo;

n = número de atributos indicadores da qualidade do solo envolvidos;

P = peso atribuído ao atributo do solo, escala de 0 a 100;

N = valor padronizado de 0 a 100, atribuído aos solos.

IQSF

Para o IQSF foram utilizados os seguintes atributos: macroporosidade (MAP), porosidade total (VTP), densidade do solo (DS) e resistência à penetração (RP). Os

valores desses atributos foram padronizados entre 0 e 100. Para cada atributo, atribui-se 100 ao valor relacionado à melhor condição física do solo e zero ao valor relacionado à pior condição física. Os demais valores foram distribuídos de forma linear no intervalo de 0 a 100. Ressalta-se que para os valores de MAP e VTP quanto maior melhor a condição física e para DS e RP quanto menores os valores melhor é a condição física.

Para a geração do IQSf foi utilizado o método multicritério aditivo, com os pesos de 15% para a RP, 35 % para a MAP e 25% para a DS e para a VTP.

IQS

O IQS foi gerado por meio de média ponderada entre o IQSq e o IQSf, com os pesos de cada índice iguais a 40% e 60%, respectivamente. Foi conferida maior importância (peso) ao IQSf, pelo fato de haver maior variabilidade dos valores nos solos estudados.

Foram calculadas razões para os índices IQSq (rIQSq), IQSf (rIQSf) e IQS (rIQS), pela divisão dos valores dos índices da camada superficial (0,00 m a 0,10 m) pelos da camada subsuperficial (0,10 m a 0,20 m).

Resultados e Discussões

Atributos Químicos dos Solos

De maneira geral, os solos estudados apresentam boa reserva de nutrientes, baixa acidez e baixos teores de alumínio tóxico, o que indica alta fertilidade química (Tabela 3).

Na avaliação do pH em água, os valores médios estiveram entre 5,1 e 6,5 (Tabela 3), valores iguais aos da condição ideal considerada para solos brasileiros. Não foram verificadas grandes diferenças entre as profundidades avaliadas. Quanto aos usos e manejos, AC, IRR, CAN, CQ e PAS apresentaram valores de pH estatisticamente superiores aos de CAF, SIL e MAT. O valor de pH médio de 5,1 para MAT pode ser considerado alto, para solos que nunca receberam calcário, o que indica a alta fertilidade natural dos solos estudados. Os solos com culturas perenes como CAF e SIL indicaram menores valores de pH, provavelmente pela maior dificuldade de distribuir o calcário de maneira uniforme no solo, quando comparadas a outras culturas de ciclo mais curto.

Os teores médios de fósforo variaram de 3,5 mg L⁻¹ a 85,3 mg L⁻¹, com alto coeficiente de variação (172%), pois os cultivos intensivos AC e IRR apresentaram valores muito elevados quando comparados a PAS, SIL e MAT.

Os teores médios de cobre variaram de 0,9 mg L⁻¹ a 4,2 mg L⁻¹. Os solos com CAF apresentaram teores de cobre mais elevados que os demais usos e manejos, certamente pelo uso de fungicidas cúpricos na cultura.

Os teores médios de zinco variaram de 1,2 mg L⁻¹ a 10,3mg L⁻¹. A IRR e a CAF apresentaram teores mais elevados do que os demais usos e diferiram de CAN, CQ, PAS, SIL e MAT.

Os teores médios de manganês variaram de 2,1 mg L⁻¹ a 26,6 mg L⁻¹. Os solos sob MAT apresentaram teores mais elevados desse micronutriente.

Os teores médios de ferro variaram de 4,8 mg L⁻¹ a 66,3mg L⁻¹. Os solos com SIL apresentaram teores mais elevados desse elemento.

Os teores médios de potássio variaram de 2,1 mmolcL⁻¹ a 7,0 mmolcL⁻¹. A IRR e a CAF apresentaram teores desse nutriente superiores aos encontrados nos solos com CAN e PAS. Nos solos com CAN e CQ, apesar das aplicações de vinhaça, não foram observados teores elevados de potássio.

Os teores médios de cálcio variaram de 29,4 mmolcL⁻¹ a 64,0 mmolcL⁻¹. A CQ apresentou os maiores teores do elemento, diferindo de CAF, CAN, PAS, SIL e MAT. A AC e a IRR apresentaram maiores teores em comparação a PAS e a SIL. O teor médio em solos com SIL não difere estatisticamente dos teores em solos com MAT e PAS.

Os teores médios de magnésio variaram de 6,1 mmolcL⁻¹ a 12,5 mmolcL⁻¹, com diferença estatística significativa apenas entre CQ e SIL. Os teores mais elevados foram verificados em solos com CQ.

Os teores médios de alumínio tóxico variaram de 0,1 mmolcL⁻¹ a 8,5 mmolcL⁻¹. Não houve diferença estatística entre as médias obtidas para as diferentes formas de uso e manejo do solo, exceto para a SIL, que apresentou os maiores teores desse elemento. A SIL também apresentou os teores mais elevados de ferro e os mais baixos de pH entre as formas de uso e manejo analisados.

Os valores de CTC variaram entre 87,5 mmolcL⁻¹ e 126,5 mmolcL⁻¹. Os teores na SIL foram mais elevados do que na CAN e na PAS. Os teores mais elevados de CTC coincidiram com maiores teores de matéria orgânica do solo.

A saturação por bases variou de 31,3% a 74,3%. Os teores na CQ foram superiores aos dos demais usos, diferindo dos usos CAF, PAS, SIL e MAT. A silvicultura apresentou valores menores do que os demais usos e manejos, diferindo estatisticamente do MAT. Somente a SIL e a MAT foram considerados distróficos.

Os teores de matéria orgânica no solo variaram de 1,6g 100g⁻¹ a 2,6g 100g⁻¹. Não houve diferença significativa entre os usos estudados.

Tabela 3. Média dos atributos químicos dos solos estudados.

Atributo	Prof.(m)	AC	IRR	CAF	CAN	CQ	MAT	PAS	SIL
PH	0,00-0,10	6,2	6,5	5,3	6,0	6,3	5,1	6,3	5,5
	0,10-0,20	6,4	6,5	5,3	6,2	6,7	5,1	6,3	5,0
	0,00-0,20	6,3a	6,5a	5,3b	6,1a	6,5a	5,1b	6,3a	5,3b
P	0,00-0,10	68,6	70,0	51,9	23,7	20,7	4,4	7,0	2,0
	0,10-0,20	56,8	100,5	22,86	24,3	21,3	3,3	4,3	5,0
	0,0 -0,20	62,7a	85,3a	37,4ab	24,0ab	21,0ab	3,8b	5,6b	3,5b
Cu ²⁺	0,00-0,10	1,5	1,5	4,1	0,9	1,5	0,8	1,2	0,9
	0,10-0,20	1,9	1,8	4,2	1,3	1,2	1,0	1,2	0,8
	0,00-0,20	1,7b	1,7b	4,2a	1,1b	1,3b	0,9b	1,2b	0,9b
Zn ²⁺	0,00-0,10	5,1	9,7	10,9	1,7	1,4	2,5	1,7	1,8
	0,10-0,20	5,5	10,9	6,5	1,7	1,0	1,5	1,1	1,1
	0,00-0,20	5,3ab	10,3a	8,7a	1,7b	1,2b	2,0b	1,4b	1,5b
Mn ²⁺	0,00-0,10	2,3	1,8	5,1	3,7	3,1	31,7	4,8	8,5
	0,10-0,20	2,0	3,1	5,0	2,7	4,0	21,6	4,9	4,1
	0,00-0,20	2,1b	2,5b	5,1b	3,2b	3,5b	26,6a	4,9b	6,3b
Fe ²⁺	0,00-0,10	12,4	13,1	14,1	14,0	5,0	21,6	24,2	75,0
	0,10-0,20	12,1	16,8	15,1	17,8	4,6	29,3	25,7	57,6
	0,00-0,20	12,2c	14,9bc	14,6bc	15,9bc	4,8c	25,3bc	24,9bc	66,3a
K ⁺	0,00-0,10	5,5	7,8	7,2	2,8	6,1	5,1	2,5	3,4
	0,10-0,20	3,3	6,2	6,0	1,7	2,9	3,4	1,7	2,5
	0,00-0,20	4,4ab	7,0a	6,6a	2,3b	4,5ab	4,2ab	2,1b	3,0ab
Ca ²⁺	0,00-0,10	50,1	59,3	44,4	44,0	69,6	41,1	38,6	30,3
	0,10-0,20	48,6	55,5	40,8	42,0	58,5	30,9	36,2	28,5
	0,00-0,20	49,4ab	57,4ab	42,6bc	43,0bc	64,0a	36,0cd	37,4cd	29,4d
Mg ²⁺	0,00-0,10	12,7	12,5	9,2	10,6	13,0	11,4	11,2	6,6
	0,10-0,20	11,6	10,6	8,1	9,8	12,0	7,1	8,5	5,6
	0,00-0,20	12,1ab	11,5ab	8,6ab	10,2ab	12,5a	9,3ab	9,8ab	6,1b
Al ³⁺	0,00-0,10	0,3	0,2	1,5	1,7	0,1	2,6	0,6	8,5
	0,10-0,20	0,2	0,1	2,2	2,2	0,1	4,4	1,0	8,5
	0,00-0,20	0,2b	0,1b	1,9b	1,9b	0,1b	3,5b	0,8b	8,5a
CTC	0,00-0,10	104,7	111,3	119,7	95,1	120,2	127,6	90,8	132,9
	0,10-0,20	100,9	104,8	108,9	91,7	107,4	103,8	84,2	120,1
	0,00-0,20	102,8ab	108,0ab	114,3ab	93,4b	113,8ab	115,7ab	87,5b	126,5a
V	0,00-0,10	67,6	73,0	53,0	61,2	77,3	46,5	58,7	31,5
	0,10-0,20	64,6	69,5	52,7	60,0	71,3	41,0	55,6	31,0
	0,00-0,20	66,1ab	71,3ab	52,9bc	60,6ab	74,3a	43,8bcd	57,1bc	31,3d
MO	0,00-0,10	1,9	1,7	2,1	1,7	2,0	2,9	2,2	2,6
	0,10-0,20	2,0	2,1	1,9	1,5	2,0	2,0	2,0	2,7
	0,00-0,20	2,0a	1,9a	2,0a	1,6a	2,0a	2,5a	2,1a	2,6a

Letras iguais na linha não diferem estatisticamente ao nível de 10% de significância segundo o teste de Tukey.

Atributos Físicos dos Solos

Os valores médios de macroporosidade variaram de 14,4% a 26,2%. Os solos sob MAT apresentaram valores mais elevados de macroporosidade, diferindo estatisticamente dos solos sob AC, IRR, CAF e PAS (Tabela 4).

Os valores médios de microporosidade variaram de 22,6% a 32,3%. Não houve diferença estatística significativa entre nenhum dos usos ou manejos dos solos. Como os valores de macroporosidade e microporosidade são complementares, optou-se em utilizar somente a macroporosidade na geração do IQSf. Além disso, os solos sob MAT, que claramente apresentaram melhores qualidades físicas, não tiveram resultado positivo com base na microporosidade (Tabela 4).

O volume total de poros variou de 45,3% a 51,7%. Não houve diferença estatística significativa entre os diferentes usos e manejos (Tabela 4).

Os valores de densidade do solo variaram de 1,28 g cm⁻³ a 1,52 g cm⁻³ e foram menores nos solos sob MAT, quando comparados aos solos com IRR (Tabela 4).

Os valores de resistência à penetração variaram de 2,4 MPa a 9,5 MPa. Os solos com PAS e AC apresentaram os maiores valores médios de resistência e diferiram do valor médio obtido para os solos sob MAT, o menor entre todos. (Tabela 4).

Tabela 4. Média dos atributos físicos dos solos estudados.

Atributo	Prof.(m)	AC	IRR	CAF	CAN	CQ	MAT	PAS	SIL
MAP	0,0-0,1	17,7	16,2	16,3	22,4	21,5	30,9	15,8	20,0
	0,1-0,2	15,8	12,5	15,4	17,3	19,0	21,5	18,1	21,8
	0,0-0,2	16,7b	14,4b	15,9b	19,8ab	20,2ab	26,2a	17,0b	20,9ab
MIP	0,0-0,1	30,9	31,4	31,9	26,5	32,8	21,0	29,7	23,9
	0,1-0,2	31,5	30,4	32,8	29,0	30,3	24,1	29,0	24,9
	0,0-0,2	31,2a	30,9a	32,3a	27,8a	31,5a	22,6a	29,3a	24,4a
VTP	0,0-0,1	48,6	47,6	48,2	48,8	54,2	51,9	45,5	43,9
	0,1-0,2	47,3	42,9	48,2	46,3	49,3	45,6	47,1	46,8
	0,0-0,2	48,0a	45,3a	48,2a	47,6a	51,7a	48,8a	46,3a	45,3a
DS	0,0-0,1	1,33	1,47	1,35	1,38	1,31	1,17	1,45	1,26
	0,1-0,2	1,40	1,58	1,37	1,49	1,38	1,41	1,26	1,32
	0,0-0,2	1,37ab	1,52a	1,36ab	1,43ab	1,34ab	1,28b	1,42ab	1,29ab
RP	0,0-0,1	5,0	2,5	5,7	2,5	3,3	1,3	8,0	3,5
	0,1-0,2	14,0	6,5	9,7	9,0	12,3	3,4	9,7	7,0
	0,0-0,2	9,5a	4,5ab	7,7ab	5,8ab	7,8ab	2,4b	8,9a	5,3ab

Letras iguais na linha não diferem estatisticamente ao nível de 10% de significância segundo o teste de Tukey.

Tabela 5. Média dos índices de qualidade dos solos estudados.

Atributo	Prof.(m)	AC	IRR	CAF	CAN	CQ	MAT	PAS	SIL
IQSq	0,0-0,1	79,0ab	84,5a	75,1abc	70,7bc	75,0abc	73,0abc	72,3bc	64,0c
	0,1-0,2	75,2ab	83,5a	74,0ab	70,7bc	71,3abc	65,5bc	68,7bc	63,0c
	0,0-0,2	77,1ab	84,0a	74,6b	70,7bc	73,2bc	69,0bc	70,5bc	63,5b
IQSf	0,0-0,1	52,2b	48,0b	49,1b	63,5ab	65,3ab	89,0a	42,9b	56,0ab
	0,1-0,2	37,8b	30,0b	43,9ab	44,8ab	47,3ab	60,5a	48,1ab	55,5a
	0,0-0,2	45,0b	39,0b	46,5b	54,2ab	56,3ab	74,8a	45,5b	55,8ab
IQS	0,0-0,1	63,0ab	62,5ab	59,4b	66,2ab	69,3ab	82,5a	54,7b	59,5ab
	0,1-0,2	52,8a	52,0a	56,0a	55,0a	56,7a	62,0a	56,3a	58,5a
	0,0-0,2	57,9b	57,3b	57,7b	60,6ab	63,0ab	72,3a	55,5b	59,0ab

Letras iguais na linha não diferem estatisticamente ao nível de 10% de significância segundo o teste de Tukey.

Indicadores de Qualidade dos Solos

Os valores médios dos índices químicos de qualidade do solo (IQSq) refletem a alta fertilidade dos solos estudados. O IQSq variou de 63,5 a 84,0 (Tabela 5 e Figura 2), valores que podem ser considerados elevados, mesmo nas áreas com MAT e SIL, que apresentaram os menores valores de IQSq. O índice dos solos com IRR diferiram estatisticamente dos solos com CAF, CAN, CQ, PAS, MAT e SIL. O menor valor de IQSq para os solos com SIL, pode ser reflexo do manejo do solo e também de uma menor fertilidade natural dos solos normalmente usados para a silvicultura.

Os valores dos IQSf variaram de 39,0 a 74,8 (Figura 2). Comparando-os com o IQSq pode-se observar maior variabilidade dos valores de IQSf. Nos solos sob MAT, os valores do IQSf foram superiores aos solos com AC, IRR, CAF e PAS, demonstrando que esses usos e manejos dos solos podem conduzir à compactação e à destruição dos agregados dos solos e, como consequência, reduzir a produtividade desses agroecossistemas.

Para os solos com pastagem, a qualidade física da camada de 0,00m a 0,10m foi semelhante a da camada de 0,10m a 0,20m. enquanto para os demais usos verificou-se maior qualidade na camada de 0,10m a 0,20m. O fato deve-se, provavelmente, à compactação em superfície causada pelo pisoteio de animais.

Os valores dos IQS dos solos variaram de 55,5 a 72,3 (Figura 2). A ordem decrescente dos valores de IQS foi MAT > CQ > CAN > SIL > AC > CAF > IRR > PAS. O IQS dos solos com MAT foi maior estatisticamente do que dos solos com AC, IRR, CAF e PAS. Esse resultado reflete o efeito aditivo dos IQSq e IQSf e parece demonstrar que os solos agrícolas do presente estudo, apesar de apresentarem boa qualidade, sofreram algum tipo de degradação em comparação aos solos com MAT, que apresentam boa fertilidade natural e ótimas qualidades físicas.

Estudos relacionados com o estabelecimento de índice de qualidade do solo com base em indicadores físicos e químicos foram realizados por Souza et al. (2003). Envolveu três diferentes classes de solos coesos dos Tabuleiros Costeiros, com ênfase na cultura dos citros e de acordo com a metodologia usada do IQS variando de 0 a 1, e todos os índices estimados mostraram-se baixos (menores que 0,5).

A Tabela 6 apresenta as razões para o IQSq (rIQSq), o IQSf (rIQSf) e o IQS (rIQS), calculadas pela divisão dos índices da camada superficial (0,00 m a 0,10 m) pelos da camada subsuperficial (0,10 m a 0,20 m). As razões rIQSq foram todas próximas a 1, porém superiores à unidade, indicando que, em todos os usos e manejos, a camada de 0,00 m a 0,10 m tende a apresentar maior reserva de nutrientes para as plantas.

No trabalho de Mendes et al.(2006) que estudaram a qualidade do solo utilizando atributos físicos e encontraram maior potencial de discriminação das áreas quando considerada a profundidade até 0,10 m, em virtude do maior efeito das raízes e matéria orgânica, e menores oscilações e menores diferenças além de 0,1 m. Para os mesmos autores, a densidade de partículas, a densidade do solo, o volume total de poros e a classe textural não foram considerados bons indicadores físicos da qualidade do solo, comparando áreas naturais e em recuperação; porém, o crescimento radicular, o diâmetro médio ponderado e o diâmetro médio geométrico dos agregados possibilitaram discriminação das áreas e apresentam potencial de aplicação em estudos para a avaliação da qualidade de solo.

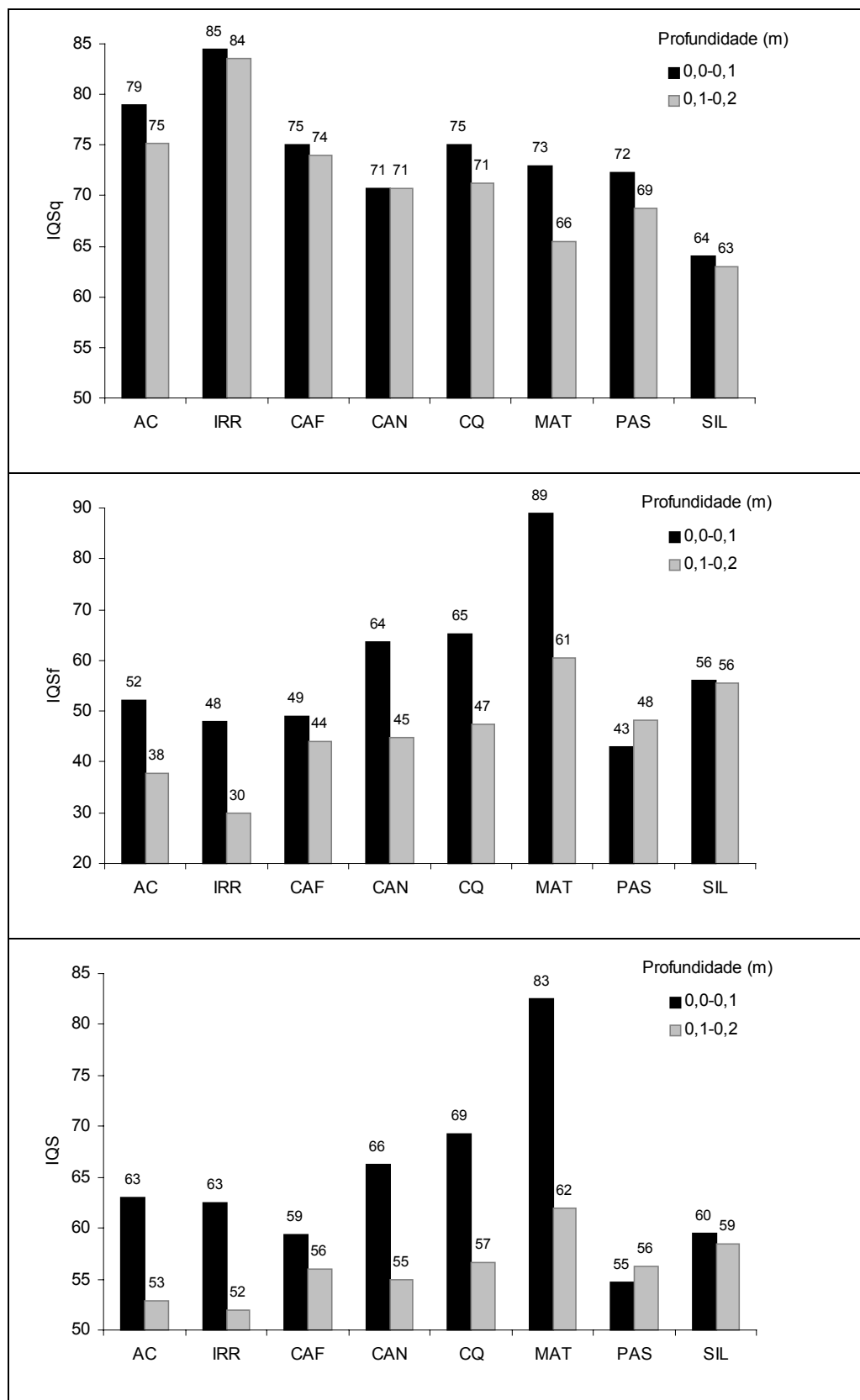


Figura 2. Indicadores de qualidade para os solos com os diferentes usos.

Os valores de rIQSq foram maiores significativamente para os solos sob MAT em comparação aos solos com IRR, CAF e CAN.

Tabela 6. Razões médias entre os índices de qualidade dos solos.

Atributo	AC	IRR	CAF	CAN	CQ	MAT	PAS	SIL
rIQSq	1,05ab	1,01b	1,01b	1,00b	1,06ab	1,13a	1,05ab	1,02ab
rIQSf	1,47ab	2,04a	1,15b	1,41ab	1,39ab	1,48ab	0,90b	1,00b
rIQS	1,20a	1,24a	1,07ab	1,20a	1,22a	1,33a	0,97b	1,01ab

As razões rIQSf tiveram maior variabilidade, com valores inferiores a 1 e superiores a 2. A pastagem foi o único uso e manejo cujos solos apresentaram valor médio inferior a 1. Esse resultado reflete o efeito do pisoteio do gado nas camadas superficiais. Os solos com SIL e CAF, por serem usados para culturas perenes e com ausência de práticas de revolvimento como aração e gradagem, apresentaram, respectivamente, valores de 1,00 e 1,15. Os solos com AC, CAN, CQ e MAT apresentaram valores de 1,39 a 1,48, resultados que refletem os efeitos do revolvimento das camadas superficiais e, no caso dos solos sob MAT, a boa estruturação da camada superficial. Os solos com IRR apresentaram os mais elevados valores de rIQSf, com média igual a 2,04 e grande diferença nos IQSf entre as camadas de 0,00 m a 0,10 m e de 0,10 m a 0,20 m, o que indica uma possível formação de pé-de-grade. Pelo teste de Tukey, houve diferença estatística ao nível de 10% entre o valor médio de rIQSf dos solos com IRR e o valor médio dos solos com CAF, PAS e SIL.

A média das razões rIQS variou de 0,97 a 1,33. Para solos com PAS, a média da rIQS difere estatisticamente das médias para solos com MAT, AC, IRR, CAN e CQ. Não há diferença estatística entre as médias para solos com AC, IRR, MAT, CAF, CAN, CQ e SIL.

Conclusões

A metodologia para geração do índice de qualidade dos solos apresentou-se promissora, permitindo apontar diferenças de qualidade tanto entre solos com diferentes formas de uso e manejo como entre diferentes profundidades de um mesmo solo.

Os resultados demonstraram que os solos sob vegetação nativa tendem a apresentar melhor qualidade do ponto de vista físico e os solos agrícolas apresentam-se melhores do ponto de vista químico, considerando como função do solo a sustentabilidade da produção agrícola.

Nos usos e manejos dos solos, com exceção da pastagem, a qualidade física do solo mostrou-se maior na camada de 0,00 m a 0,10 m de profundidade, em comparação com a camada de 0,10 m a 0,20 m. Nas pastagens, a qualidade física

das camadas do solo mostrou-se semelhante, provavelmente em razão da compactação superficial causada pelo pisoteio animal.

Os solos cultivados com cana-de-açúcar crua não apresentaram maior qualidade do que os solos cultivados com cana-de-açúcar queimada.

Bibliografia

BACCARO, C. A. D. Processos erosivos no domínio do Cerrado. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340 p.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Soil compaction and fertilization in soybean productivity. **Scientia Agricola**, v. 61, p. 626-631, 2004.

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

CHAER, G. M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. Viçosa: UFV. 89 p. Tese (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa (2001).

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 703-709, 1999.

D'ANDREA, A. F.; et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 179-186, 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

HARTEMINK, A. E. Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea. **Geoderma**, v. 85, p. 283-306, 1998.

KLUTHCOUSKI, J.; et al. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, v. 57, 2000.

MENDES, F. G.; MELLONI, G. P.; MENDES, R. M. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas em Itajubá/MG. **Cerne**, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.

PILLON, C. N.; LIMA, C. L. R.; BORBA, M. F. S.; CRUZ, L. E. C.; FLORES, C. A. **Monitoramento de indicadores da qualidade de um Cambissolo sob sistemas de manejo da pecuária familiar na Serra do Sudeste, RS.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 26 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 37).

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas/Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).

RANIERI, S. B. I.; SPAROVEK, G.; SOUZA, M. P.; DOURADO NETO, D. Aplicação de índice comparativo na avaliação do risco de degradação das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 751-760, 1998.

SANTOS, H. G.; et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. v. 1., 306 p.

SECCO, D.; et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 797-804, 2004.

SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; SOUZA, L. F. S. Enfoque de produção vegetal: estudo de caso para citros em solos coesos de tabuleiros costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA (CONBEA), 32., 2003, Goiânia-GO. **Anais...**

SOUZA, Z. M.; BEUTLER, A. N.; MELO, V. P.; MELO, W. J. Estabilidade de agregados e resistência à penetração em latossolos adubados por cinco anos com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 117-123, 2005.

SPAROVEK, G.; TERAMOTO, E. R. ; TORETA, D. M.; ROCHELE, T. C. P.; SHAYER, E. P. M. Erosão simulada e a produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, n. 3, p. 363-368, 1991.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 229-235, 1991.

TORMENA, C. A; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. A.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 795-801, 2002.

VALPASSOS, M. A. R. Effects of soil management systems on soil microbial activity, bulk density and chemical properties. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1539-1545, 2001.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 196 p.

VIEIRA, H.; CALLIARI, L. J.; OLIVEIRA, G. P. O estudo do impacto da circulação de veículos em praias arenosas através de parâmetros físicos: um estudo de caso. **ENGEVISTA**, v. 6, p. 54-63, 2004.

TENGBERG, A.; STOCKING, M.; DECHEN, S. C. F. Erosion's impact on soil productivity — an experimental design applied in São Paulo State, Brazil. **Geografiska Annaler**, Suécia, n. 79A, p. 95-107, 1997.

Circular Técnica, 13



**MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA E
ABASTECIMENTO**



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Monitoramento por Satélite

Endereço: Av. Dr. Júlio Soares de
Arruda, 803 - Parque São Quirino
CEP 13088-300 Campinas, SP BRASIL
Caixa Postal 491, CEP 13001-970
Fone: (19) 3256 6030
Fax: (19) 3254 1100
sac@cnpm.embrapa.br
<http://www.cnpm.embrapa.br>

Comitê de Publicações

Presidente: José Roberto Miranda

Secretária: Shirley Soares da Silva

Membros: Adriana Vieira de Camargo de
Moraes, André Luiz dos Santos Furtado,
Carlos Alberto de Carvalho, Carlos
Fernando Quartaroli, Cristina Aparecida
Gonçalves Rodrigues, Graziella Galinari,
Gustavo Souza Valladares e Mateus
Batistella

1ª edição

1ª impressão (2007): 50 exemplares
Fotografias: Arquivo do Centro