

QUALIDADE DO SOLO COMO INDICADOR DE SUSTENTABILIDADE DE AGROECOSSISTEMAS

SOIL QUALITY AS AN INDICATOR OF AGROECOSYSTEM SUSTAINABILITY

Helvio Debli Casalinho¹, Sérgio Roberto Martins², João Baptista da Silva³, Ângelo da Silva Lopes⁴

RESUMO

O presente trabalho aborda um sistema de produção adotado por um grupo de agricultores da Associação Regional de Produtores Agroecologistas da Região Sul (ARPA –SUL), do estado do Rio Grande do Sul e teve como objetivo avaliar o comportamento da Qualidade do Solo frente ao tempo de cultivo com manejo de base ecológica. A Qualidade do Solo, como indicador de sustentabilidade, foi avaliada através do Método Integrativo de Avaliação da Qualidade do Solo (MIAQS), proposto e aplicado na presente pesquisa. Sua base teórica está fundamentada na análise integrada de um conjunto mínimo de atributos físicos, químicos, biológicos e visuais do solo, indicadores de sua qualidade. Os resultados encontrados mostraram um efeito positivo do sistema de manejo utilizado pelos agricultores sobre a capacidade do solo em exercer suas funções no agroecossistema, sugerindo tendências tanto de recuperação quanto de melhorias nas condições dos indicadores estudados. Foi possível inferir, face a essa influência e as características dos demais elementos que compõem o sistema de produção, que este está contribuindo para uma atividade agrícola sustentável.

Palavras-chave: manejo ecológico do solo, agroecologia, qualidade do solo.

ABSTRACT

This work deals with the production system adopted by a group of small farmers from the Regional Association of Agroecologist Producers of the Southern Region (ARPA-SUL), Rio Grande do Sul State, and evaluated the Soil Quality along the cultivation period using an ecological soil management based system. The Soil Quality, as a sustainability indicator, was evaluated through the Integrative Soil Quality Evaluation Method (ISQEM), proposed and applied in the present research. Its theoretical basis is founded in an integrated analysis of a minimum set of visual, biological, chemical and physical attributes used as soil quality indicators. The results showed a positive effect of the management system used by the small farmers on the soil capability to exert its functions in the agroecosystem, suggesting restoration as well as improvement trends in the conditions of the indicators. It was possible to infer, in face of this influence and from the other characteristic elements that compose the production system, that this system is contributing to a sustainable agriculture activity.

Key words: ecological soil management; agroecology; soil quality

INTRODUÇÃO

A revisão bibliográfica levado a cabo para fundamentar o presente trabalho, permitiu que se constatasse que a investigação científica desenvolvida na área da ciência do solo, em sua imensa maioria, é ainda feita sob a concepção positivista, utilizando metodologias quase que exclusivamente quantitativas e sem o envolvimento de agricultores. Porém,

tem-se constatado um aumento gradativo no número de trabalhos que são desenvolvidos com abordagens que transcendem o campo da disciplinaridade e do saber exclusivamente acadêmico, passando o pesquisador a questionar o paradigma vigente e a considerar o agricultor como ator e parceiro no processo decisório.

Por outro lado, os limites sociais, econômicos e ambientais do modelo de modernização conservadora da agricultura e a preocupação com o futuro das próximas gerações, foram determinantes para que novos modelos agrícolas surgissem nesses últimos anos, tendo como objetivo o desenvolvimento de uma produção ecologicamente equilibrada, socialmente justa e economicamente viável. O manejo do solo, nesse contexto é, sem dúvida, um componente fundamental do sistema de produção e um valioso instrumento na busca de uma atividade agrícola sustentável. Os conceitos de Qualidade e Saúde do Solo foram desenvolvidos como resposta a demanda de uma parcela significativa da comunidade científica, que reconheceu não só a necessidade do recurso solo ser pensado de forma mais integral e integradora como, também, pela necessidade de desenvolver uma nova forma de pensar o ecossistema agrícola.

A Qualidade do Solo pode ser conceituada como a capacidade que um determinado tipo de solo apresenta, em ecossistemas naturais ou agrícolas, para desempenhar uma ou mais funções relacionadas à sustentação da atividade, da produtividade e da diversidade biológica, à manutenção da qualidade do ambiente, à promoção da saúde das plantas e dos animais e à sustentação de estruturas sócio-econômicas e de habitação humana (DORAN & PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997). Em trabalhos desta natureza a Qualidade do Solo pode ser avaliada considerando a capacidade do solo em suprir nutrientes para as plantas, para suportar o crescimento e desenvolvimento de raízes, para proporcionar uma adequada atividade biológica, em propiciar uma adequada estabilidade estrutural, para resistir a erosão e para reter água para as plantas, entre outros.

Nessa perspectiva é fundamental a escolha de um conjunto mínimo de indicadores que apresentem características como facilidade de avaliação, aplicabilidade em diferentes escalas, capacidade de integração, adequação ao nível de análise da pesquisa, utilização no maior número possível de situações, sensibilidade às variações de manejo e clima e possibilidade de medições por métodos quantitativos e/ou qualitativos (DORAN et al., 1996; USDA, 2001).

A Qualidade do Solo como um importante indicador da sustentabilidade de agroecossistemas, tem seu monitoramento feito a partir do comportamento de indicadores,

¹ Eng^o Agr^o, Prof. Dr., Depto. De Solos/FAEM/UFPEL; helvioldc@ufpel.tche.br;

² Eng^o Agr^o, Prof. Dr. Curso Engenharia de Produção/ UFSC;

³ Eng^o Agr^o, Prof. Dr., Depto. Matemática e Estatística/IFM/UFPEL;

⁴ Eng^o Agr^o Mestrando PPGA/PV/UFPEL

ao longo do tempo, ou comparando seus desempenhos com valores de referência, que podem ser estabelecidos a partir de resultados de pesquisa ou obtidos em ecossistemas naturais, localizados nas mesmas condições do solo avaliado (DORAN & PARKIN, 1994; KARLEN et al., 1997).

Avaliar a Qualidade do Solo como um indicador de sustentabilidade de agroecossistemas de base ecológica foi o objetivo do presente trabalho, que foi fundamentado em três princípios básicos da pesquisa participativa: a possibilidade lógica e política de indivíduos e grupos organizados serem sujeitos na construção de um novo conhecimento, a possibilidade de determinar o uso e o destino político desse conhecimento produzido pela pesquisa, tenha ela tido ou não a participação do agricultor em todas as suas etapas e, finalmente, a certeza de que é esse contato direto entre pesquisador e pesquisado, o instrumento gerador da necessidade da pesquisa a qual, gera a necessidade de participação do agricultor (HAGUETTE, 1999).

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa foram selecionados dois agricultores pertencentes a Associação Regional de Produtores Agroecologistas da Região Sul do RS (ARPASUL) e cujas propriedades agrícolas, localizadas no município de Pelotas, RS, são representativas do conjunto dos agricultores associados da ARPASUL. Na propriedade A o agricultor implantou seu sistema de cultivo em áreas que não haviam sofrido ação antrópica, possuindo, no momento em que se deu os trabalhos de campo da presente pesquisa, glebas com dois, três e quatro anos de cultivo de base ecológica. Já na propriedade B, o agricultor começou a produzir em áreas que já estavam degradadas pelos longos anos de cultivo convencional, existindo glebas com três, cinco e sete anos de cultivo de base ecológica. Ambas as propriedades tinham glebas com vegetação nativa, que serviram de referência nas comparações com os Índices de Qualidade do Solo obtidos. Nas áreas dessas propriedades constatou-se a ocorrência de solos da associação Luvisolo Háplico Órtico típico, Neossolo Regolítico Distro-úmbrico e Afloramentos rochosos (EMBRAPA, 2006).

De modo geral, o sistema de manejo utilizado pelos agricultores é constituído por policultivos, preparo do solo e semeadura com tração animal ou manual, cultivo mínimo, calagem, plantio intercalado, pousio, rotação de culturas, adubação verde, adubação orgânica com compostos, esterços, biofertilizantes e vermicomposto, manejo de insetos, doenças e plantas espontâneas através de inimigos naturais, alelopatia, defensivos orgânicos, produtos e plantas repelentes, caldas, soro de leite, extrato de fumo e capinas manuais ou com tração animal, proteção da superfície do solo e controle de escoamento superficial e irrigação, conforme informações obtidas com os agricultores através de entrevistas a que foram submetidos.

Para verificar a percepção que os agricultores tinham sobre Qualidade do Solo foram utilizados questionários e entrevistas elaborados segundo GIL (1991) e HAGUETTE (1999).

Para avaliar a Qualidade do Solo foi proposto e aplicado o Método Integrativo de Avaliação da Qualidade do Solo (MIAQS), desenvolvido a partir dos trabalhos de DORAN & PARKIN (1994), MASERA et al. (1999), ENSSLIN et al. (2001) e ANDREWS et al. (2002), a fim de se verificar o comportamento de um conjunto de indicadores frente a um determinado sistema de manejo, ao longo do tempo. O

método proposto é constituído pelos seguintes procedimentos ou etapas:

- a) Seleção de um conjunto mínimo de indicadores, considerando tanto o saber científico quanto o saber popular;
- b) Avaliação dos indicadores;
- c) Identificação do desempenho (valores quantitativos) de cada indicador que represente seu nível de limitação à produção agrícola, fundamentado em resultados de pesquisa, em revisão bibliográfica e na experiência do pesquisador, conforme apresentado na tabela 1;
- d) Identificação, entre os resultados obtidos para cada propriedade, dos valores que expressam os melhores e os piores desempenhos dos indicadores;
- e) Construção de descritores quantitativos contínuos para cada indicador, definidos como o conjunto de cinco níveis de impacto que descreve seus desempenhos e cujos valores extremos correspondem, respectivamente, ao de menor atratividade identificado pela literatura e o de maior atratividade, correspondendo aos melhores valores encontrados nas propriedades, atribuindo-lhes pesos zero e dez, respectivamente;
- f) Definição dos três níveis de impacto intermediários dos descritores, dividindo-se a diferença entre os valores de melhor e pior atratividade por quatro;
- g) Atribuição, por juízo de valor, de índices ponderados a cada um dos três níveis de impactos intermediários dos descritores, considerando o grau de importância de cada indicador frente às funções que foram estabelecidas para o solo no agroecossistema e o quanto poderia melhorar seu desempenho, ao passar de um nível de impacto para outro, levando-se em conta a experiência do pesquisador e dados referenciais existentes sobre seu desempenho;
- h) Determinação, por interpolação matemática, dos índices ponderados correspondentes ao desempenho de cada indicador, a partir dos valores obtidos em suas análises;
- i) Integração quantitativa dos valores ponderados por meio de Índices Agregados de Qualidade do Solo e de testes estatísticos multivariados;
- j) Análise e interpretação dos resultados.

Para a avaliação integrada dos indicadores, através de enfoques quantitativos, construíram-se descritores quantitativos contínuos, definidos por ENSSLIN et al. (2001), como um conjunto de níveis de impacto que serve de base para avaliar os desempenhos de cada um dos atributos do solo, considerados como indicadores de sua qualidade. A construção desses descritores, com seus respectivos índices ponderados, organizados com base no juízo de valor do pesquisador e em referências bibliográficas que tratam da importância agrícola dos indicadores utilizados, metodologia aqui apresentada e os cálculos de interpolação matemática estão descritos, detalhadamente, em CASALINHO (2003).

As amostras de solo foram retiradas em três pontos de cada uma das glebas das propriedades, nas profundidades de 0 a 10 e de 10 a 20 cm, com repetição e analisadas com base nos procedimentos apresentados por: EMBRAPA, 1997(densidade do solo; porosidade total, macroporosidade e microporosidade; PAULETTO, 1997(macroagregados e diâmetro médio ponderado); STOLF, 1991(resistência mecânica do solo à penetração); COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO (fósforo disponível; saturação de bases); VANCE et al., 1987(carbono microbiano); TEDESCO et al., 1995 (carbono orgânico); MEINICKE (1983), USDA (1998).

Para verificar a existência ou não de similaridades entre as glebas de cada uma das propriedades, com diferentes tempos de cultivo, submeteu-se os índices ponderados à Análise dos Componentes Principais (ACP) e a Análise Hierárquica de Agrupamentos, método Aglomerativo Hierárquico Ascendente (WARD). A tendência de comportamento dos IQS frente ao tempo de cultivo, foi avaliada pela aplicação do teste de regressão linear simples.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os indicadores selecionados através da percepção dos agricultores foram: compactação, matéria orgânica, número de minhocas, profundidade do solo, cor do solo, erosão, plantas indicadoras, porosidade do solo, aparência da planta e organismos do solo. À concepção de qualidade do solo apresentada pelos agricultores, agregou-se informações

obtidas através de revisão bibliográfica pertinente à temática tratada. Como resultado desta integração de saberes foi definido que os indicadores carbono microbiano, carbono orgânico, densidade, diâmetro médio ponderado (DMP), espessura do horizonte A, fósforo disponível, macroagregados, população de minhocas, porosidade total, relação micro/macroporosidade, resistência mecânica do solo à penetração e saturação de bases seriam utilizados para avaliar a Qualidade do Solo.

Como o método proposto é basicamente quantitativo, alguns indicadores como cor do solo e aparência da planta, não foram contemplados diretamente. Plantas indicadoras pela dificuldade de se estabelecer parâmetros quantitativos também não teve seus indicadores análogos.

Os valores referentes à maior e à menor atratividade dos indicadores, para as propriedades A e B, com as respectivas fontes de referência, são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Valores de menor e de maior atratividade para os indicadores da Qualidade do Solo

Indicador	Unidade	Valor menos atrativo	Fontes de referência para os valores menos atrativos	Valor mais atrativo	
				A	B
Resistência a penetração	Mpa	15	CAMARGO & ALLEONI, 1997	1,0	1,17
Porosidade total	m m ⁻³	0,2500	KIEHL, 1979	0,4788	0,5050
Densidade	Mg m ⁻³	1,6	KIEHL, 1979; LAL, 1999, USDA/NRCS, 1998, CARVALHO JR. et al., 2000	1,33	1,22
Relação micro/macroporos	-	0,25	KIEHL, 1979; BAVER, 1972; LAL, 1999	2,07	2,19
Macroagregados	%	47	Menor valor entre todas glebas	73,0	92,0
Diâmetro médio ponderado	mm	0,5	KIEHL, 1979; PRIMAVESI, 1980; LAL, 1999	1,36	3,0
População minhocas	un/10000 cm ³	0	MEINICKE, 1983; USDA/NRCS, 1998	4,0	6,0
Saturação bases	%	20	NACHTIGALL & VAHL, 1989	47,0	52,0
Fósforo disponível	mg/dm ³	3,0	COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO 1995	45,0	50,0
Espessura horizonte A	cm	20	LEPSCH, 1983; CUNHA & SILVEIRA, 1996	53	49
Carbono orgânico	gC/100g	0,5	COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO, 1995	1,76	2,64
Carbono microbiano	mg Kg ⁻¹	50	LAL, 1999; GAMA -RODRIGUES, 1999; INSAM & DOMSCH, 1988	165,0	321,0

Tendo em vista que os indicadores selecionados podem ter variações nos seus valores considerados de menor atratividade (àqueles abaixo dos quais possivelmente sejam prejudiciais ou limitantes ao crescimento e desenvolvimento da maioria das espécies cultivadas) em função do tipo de solo presente num determinado agroecossistema, buscou-se na literatura aqueles desempenhos relacionados aos solos ocorrentes nas propriedades objeto deste estudo. Quando isso não foi possível, procurou-se trabalhar com dados de solos similares àqueles encontrados nas duas áreas estudadas.

Para o indicador macroagregados, foi considerado como nível de impacto menos atrativo, o percentual de 47%, o qual corresponde ao menor valor encontrado entre as glebas estudadas. Esse procedimento foi adotado face às dificuldades de encontrar-se na literatura consultada, valores que sugerissem um nível mínimo de limitação para esse atributo.

Os valores médios dos desempenhos dos indicadores e seus respectivos índices ponderados são apresentados na tabela 2 para a propriedade A e na tabela 3 para a propriedade B.

As similaridades entre as glebas, com diferentes

tempos de cultivo, são apresentadas pelos agrupamentos apresentados nos dendogramas representados pelas figura 1 para a propriedade A e pela figura 2 para a propriedade B.

Observou-se, pelos agrupamentos formados no nível de rigor cinco (o nível zero seria o de rigor máximo e nenhuma gleba apresentaria similaridade com outra; o nível 25 é o mais condescendente, mostrando, neste caso, que todas as glebas seriam similares) que na propriedade (A), onde o sistema de manejo foi implantado em áreas que estavam sob vegetação nativa, há similaridades entre a gleba de referência (G1) e a de dois anos de cultivo (G2), unidas em um mesmo segmento. Ambas, no entanto, apresentam diferenças significativas, pela análise integrada dos indicadores, tanto com relação à gleba G3, quanto a G4, as quais, por sua vez, são similares entre si. Infere-se, com isso, que na propriedade A, a capacidade da gleba G2 para exercer as funções no ecossistema agrícola, está semelhante a da gleba de referência (G1), cujo solo se encontra sob mata nativa, e que esse desempenho, é diferente das outras duas glebas da propriedade. Na formação destes agrupamentos, os indicadores que mais contribuíram foram Diâmetro Médio Ponderado, Carbono Orgânico e Carbono Microbiano.

Tabela 2 - Valores médios (vm) dos indicadores e os respectivos índices ponderados (ip) para as quatro glebas da propriedade (A)

Indicador	Gleba 1		Gleba 2		Gleba 3		Gleba 4	
	vm	ip	vm	ip	vm	ip	vm	ip
Resistência penetração (Mpa)	1,55	9,4	1,0	10,0	1,0	10,0	1,05	9,9
Porosidade total (m m ⁻³)	0,4491	9,0	0,4304	8,4	0,4788	10,0	0,4453	8,9
Densidade (Mg m ⁻³)	1,40	6,7	1,34	9,5	1,34	9,5	1,33	10,0
Relação micro/macroporos	1,55	7,7	2,07	10,0	1,18	6,1	1,74	8,5
Macroagregados (%)	63,22	7,8	61,78	7,2	73,01	10,0	68,5	9,4
Diâmetro médio ponderado (mm)	1,29	9,4	1,26	9,1	1,27	9,2	1,36	10,0
População minhocas (um/500 cm ²)	2,0	5,0	3,0	7,5	3,0	7,5	4,0	10,0
Saturação bases (%)	36,72	7,4	29,68	4,1	46,85	10,0	44,23	9,6
Fósforo disponível (mg/dm ³)	5,35	1,0	9,42	2,9	45,75	10,0	42,27	9,8
Espessura Horizonte A (cm)	53,0	10,0	53,0	10,0	52,0	9,8	51,0	9,5
Carbono orgânico (gC/100g)	1,57	8,8	1,76	10,0	0,94	3,1	1,71	9,7
Carbono microbiano (mg Kg ⁻¹)	127,33	7,0	146,88	8,7	165,72	10,0	157,50	9,5

Gleba 1: área de mata nativa ; Gleba 2: área com 2 anos de cultivo

Gleba 3: área com 3 anos de cultivo ; Gleba 4: área com 4 anos de cultivo

Tabela 3 - Valores médios dos indicadores (vm) e respectivos Índices ponderados (ip) para quatro glebas da propriedade (B).

Indicador	Gleba 1		Gleba 2		Gleba 3		Gleba 4	
	vm	ip	vm	ip	vm	ip	vm	ip
Resistência penetração (Mpa)	2,64	8,3	1,3	9,8	1,29	9,9	1,17	10,0
Porosidade Total (m m ⁻³)	0,5050	10,0	0,4584	9,3	0,4698	9,5	0,4188	8,3
Densidade (Mg m ⁻³)	1,22	10,0	1,37	5,6	1,32	6,6	1,29	7,4
Relação micro/macroporos	2,19	10,0	0,89	4,6	0,86	4,5	1,74	8,1
Macroagregados (%)	91,72	10,0	76,92	8,6	79,97	8,9	85,47	9,4
Diâmetro médio ponderado (mm)	3,0	10,0	2,34	7,8	2,33	7,8	2,33	7,8
População minhocas (um/500 cm ²)	2,0	3,3	3,0	5,0	6,0	10,0	6,0	10,0
Saturação bases (%)	51,98	10,0	81,27	6,1	71,83	7,7	68,53	8,2
Fósforo disponível (mg/dm ³)	4,68	0,6	37,33	8,9	50,0	10,0	49,35	9,9
Espessura Horizonte A (cm)	49,0	10,0	37,0	6,3	29,0	3,4	36,0	6,0
Carbono Orgânico (gC/100 g)	2,64	10,0	1,96	6,8	2,53	9,5	1,49	4,8
Carbono Microbiano (mg Kg ⁻¹)	321,66	10,0	106,36	2,9	175,56	4,8	139,77	4,0

Gleba 1: área de mata nativa ; Gleba 2: área com 3 anos de cultivo

Gleba 3: área com 5 anos de cultivo ; Gleba 4: área com 7 anos de cultivo

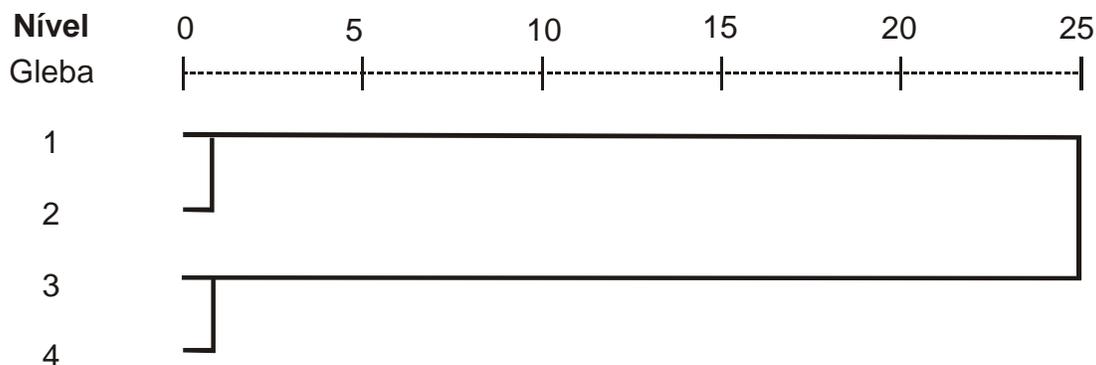


Figura 1 - Dendrograma mostrando os agrupamentos formados entre as glebas da propriedade (A)

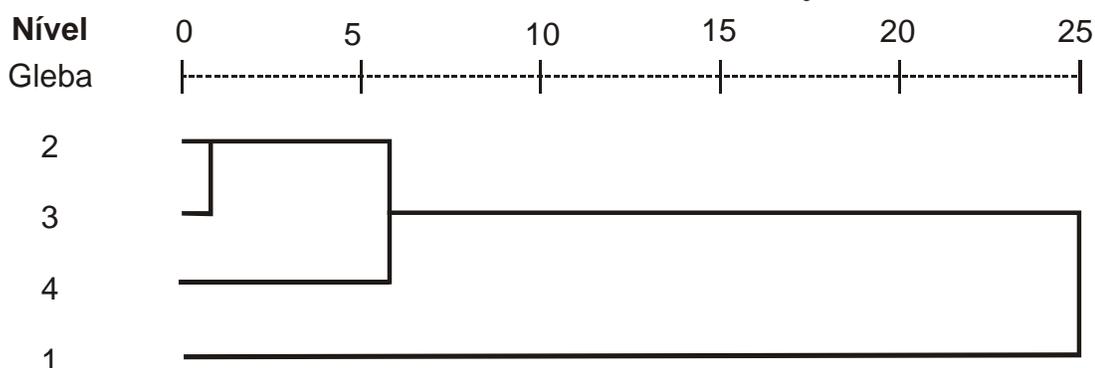


Figura 2 - Dendrograma mostrando os agrupamentos formados entre as glebas da propriedade (B)

Já na propriedade B, onde o agricultor inicia suas atividades como produtor agroecológico, a partir de solos degradados, foi possível verificar pelo Dendrograma formado, que há similaridades entre as glebas G2 e G3, cultivadas, respectivamente há três e há cinco anos com o sistema de manejo caracterizado nesse trabalho. Ambas, no entanto, apresentam dissimilaridades tanto com relação à gleba de referência (G1), quanto com a gleba G4 (com sete anos de cultivo), evidenciando três comportamentos diferentes das glebas com relação à Qualidade do Solo.

Os indicadores de mais influenciaram na formação dos agrupamentos nessa propriedade foram população de minhocas, carbono orgânico e espessura do horizonte A.

Tratando-se, de certa forma, de uma pesquisa exploratória, esse tipo de informação, fornecido pela Análise dos Componentes Principais, é muito importante, pois fornece elementos que poderão balizar futuros trabalhos que contemplem não apenas a temática aqui considerada, mas, também, e principalmente, a concepção e o enfoque que foi dado na presente investigação.

Além de serem analisados integradamente por esses testes estatísticos, os índices ponderados foram agregados num Índice Médio de Qualidade do Solo cujos valores, com

seus respectivos coeficientes de variação, estão apresentados na tabela 4.

A comparação dos Índices de Qualidade do Solo das glebas de referência com as glebas cultivadas foi feita pelos acréscimos e decréscimos relativos, os quais são calculados pela diferença entre um IQS de uma dada gleba e o IQS da gleba de referência e dividindo-se o resultado pelo IQS da gleba de referência. Os resultados encontrados estão apresentados na tabela 5.

Pelos valores encontrados, foi possível constatar que na propriedade A, os IQS foram aumentados e que esses aumentos cresceram da gleba de menor para de maior tempo de cultivo. Já na propriedade B, o que se verificou foi que em todas as comparações ocorreram decréscimos nos valores dos IQS. No entanto essa diminuição de valores, dada pelos respectivos percentuais, foi se reduzindo conforme aumentaram os anos de cultivo das glebas.

Como os Índices de Qualidade do Solo refletem o desempenho integrado dos atributos físicos, químicos e biológicos estudados, eles são ferramentas úteis que poderão ser utilizadas nas tomadas de decisões sobre o sistema de manejo que está sendo avaliado.

Tabela 4 - Valores dos Índices de Qualidade do Solo (IQS) para diferentes glebas em relação ao tempo de cultivo* com sistemas de manejo de base ecológica.

Propriedades	Parâmetros	Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4
A	IQS	7,4	8,0	8,8	9,6
	CV (%)		29,26	24,74	4,85
B	IQS	8,5	6,8	7,7	7,8
	CV (%)		31,12	30,69	25,55

*(A) G1: área referência; G2: 2 anos; G3: 3 anos; G4: 4 anos

*(B) G1: área referência; G2: 3 anos; G3: 5 anos; G4: 7 anos

Tabela 5 - Acréscimos e decréscimos relativos (%) na comparação dos IQS das glebas de referência com as glebas cultivadas.

Comparação	Propriedade A	Comparação	Propriedade B
G1 : G2	(a) 9,5	G5 : G2	(d) 20,0
G1 : G3	(a) 18,9	G5 : G3	(d) 9,4
G1 : G4	(a) 29,7	G5 : G4	(d) 8,2

(a) acréscimo relativo

(d) decréscimo relativo

A figura 3 mostra que na propriedade A houve um efeito linear crescente significativo ao nível de 5 % e um alto coeficiente de determinação, evidenciando o ajuste do modelo matemático. Isso significa, comparando-se as glebas cultivadas com a de referência, que a partir dos três anos de cultivo ocorreu uma tendência de melhoria das condições naturais do solo.

Observando-se ainda a figura 3, verifica-se que no gráfico representativo da propriedade B, a existência de um acentuado decréscimo entre o ponto representativo do IQS da gleba de referência e o ponto que representa o IQS da gleba com três anos sob cultivo de base ecológica. Quando se abstrai o ponto referente à gleba G1, é possível identificar uma tendência de crescimento dos Índices de Qualidade do Solo,

conforme avança-se no tempo de cultivo, sugerindo um processo de recuperação das condições gerais do solo. Esse fato pode ser constatado, também, pela aproximação do ponto referente a gleba 4, em relação ao da gleba com vegetação nativa.

Os resultados obtidos com a Análise dos Componentes Principais, com o cálculo dos acréscimos e decréscimos relativos e com a Regressão Linear, permitem inferir que na propriedade A, tanto a gleba G3, com três anos de cultivo,

quanto a G4, cultivada já há quatro anos, estavam com melhor capacidade para atender as funções do solo dentro do agroecossistema estudado, tanto em relação à gleba com dois anos de cultivo, quanto à própria área de referência.

Já na propriedade B, foi possível verificar que na gleba com três anos de cultivo, a Qualidade do Solo está num patamar inferior ao das glebas com cinco e sete anos de cultivo, mas mesmo essas não se encontravam no nível da gleba de referência (G1).

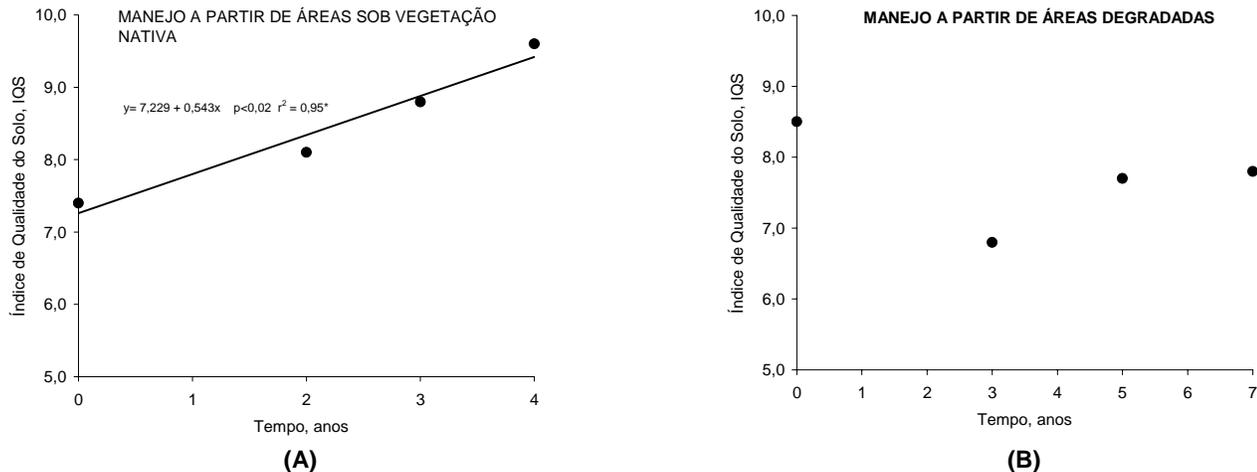


Figura 3 - Variação temporal do Índice de Qualidade do Solo (IQS), obtido pelo MIAQS, em duas propriedades com diferentes históricos de manejo (as linhas paralelas ao eixo das abscissas, correspondem aos valores dos IQS das áreas de referência).

Nas três glebas cultivadas é possível verificar que há, pelo menos, uma tendência de crescente recuperação da Qualidade do Solo. Essa tendência de recuperação das áreas degradadas, observada na propriedade B e o melhoramento das condições originais do solo nas glebas cultivadas da propriedade A indicam que o sistema de manejo dos agricultores está agindo positivamente sobre a Qualidade do Solo.

Essa ação pode ser explicada, possivelmente, pela ação integrada e continuada das práticas agrícolas que constituem o sistema de manejo utilizado pelos agricultores, notadamente no que se refere ao uso constante e intensivo de diferentes tipos de adubos orgânicos e de biofertilizantes, associados a rotação de culturas, adubação verde, cultivos associados, cultivos de cobertura e a supressão completa do uso de agrotóxicos.

Trabalhos desenvolvidos por ALVARENGA & DAVIDE (1999), GLOVER et al., (2000), MITCHELL et al., (2000), REGANOLD et al., (2001), SENA et al., (2002), integrando diferentes atributos físicos, químicos e biológicos através a Análise dos Componentes Principais ou de Índices de Qualidade do Solo, utilizados para avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo, tiveram resultados semelhantes aos encontrados na presente pesquisa. Segundo esses autores, solos submetidos, ao longo dos anos, a sistemas de manejo orgânicos, recebendo elevadas doses de fertilizantes orgânicos, de biofertilizantes, trabalhando em policultivos, cultivos associados, com rotação de culturas, cultivos de cobertura e adubação verde, melhoram sensível e gradativamente o desempenho desses atributos e geram como consequência, em sistemas de manejo de base ecológica, Índices de Qualidade do Solo mais elevados

quando comparados a sistemas de manejo convencionais, tendo, ainda, uma tendência a se aproximarem de ecossistemas naturais.

Aplicações sistemáticas de adubos orgânicos como tortas, esterco de curral, compostos de esterco bovino com material verde e vermicompostos de esterco de bovino e de resíduos orgânicos, promovem um incremento gradativo da matéria orgânica no solo. Como consequência ocorrem alterações significativas nas propriedades físicas aumentando o tamanho e a estabilidade dos agregados, diminuindo a densidade, aumentando a porosidade e a aeração, aumentando a capacidade de retenção e de infiltração de água e promovendo uma melhor resistência do solo à erosão. Os benefícios desses fertilizantes orgânicos são também verificados nas propriedades químicas do solo melhorando o pH, aumentando a disponibilidade de nutrientes para as plantas, fazendo a complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes e aumentando a capacidade de troca catiônica (BAYER & MIELNICZUK, 1999; GLOVER et al., 2000; SOUZA et al., 2000; WELLS et al., 2000; GARZIM & MORAES, 2001; MORSELLI et al., 2001; CARTER, 2002; MAGDOFF, 2002).

Da mesma forma, as características biológicas do solo sofrem forte influência da adição de compostos orgânicos, pois esses atuam como fonte de carbono, energia e nutrientes para os microorganismos, aumentando a biomassa microbiana e a população de minhocas e outros organismos que são os responsáveis pelos processos de decomposição e mineralização dos resíduos vegetais e orgânicos, adicionados ou existentes naturalmente no solo, pela ciclagem de nutrientes e pela desintoxicação do solo e redução de agentes patogênicos (GAMA-RODRIGUES, 1999; CARPENTER-

BOGGS et al., 2000; DORAN & ZEISS, 2000; e SENA et al., 2002).

A restauração e o melhoramento da Qualidade do Solo nas áreas investigadas não ocorreram, no entanto, apenas pelo emprego desses fertilizantes. Provavelmente, e isso é importante, o efeito foi decorrente da ação integrada das práticas agrícolas que compõem o sistema de manejo que os agricultores utilizam, incluindo adubação verde, rotação de culturas, policultivos associados ou intercalados, cultivo conservacionista, controle da erosão, calagem e supressão do uso de agrotóxicos.

Cada uma delas proporcionou, provavelmente, muitas melhorias à Qualidade do Solo, as quais direta ou indiretamente estarão vinculadas, num determinado momento, a matéria orgânica, pois estarão contribuindo para uma maior quantidade e qualidade de resíduos vegetais que são incorporados ao solo.

A maior eficiência no uso da terra, com aumentos de produtividade, os efeitos de complementaridade e sinergismo, o menor risco de perdas de produção com maior estabilidade do sistema, a melhor captação e distribuição de recursos, o melhoramento das características físicas, químicas e biológicas do solo e a redução de pragas e doenças são alguns dos benefícios trazidos pelo uso múltiplo de culturas, associadas, intercaladas ou em sucessão e estão retratados nos trabalhos de GLIESSMAN (2000); SHARMA & BHUSHAN (2001); LIEBMAN (2002) e RUSSELL (2002).

Um bom sistema de rotação de culturas e o uso de plantas de cobertura para fins de proteção de superfície ou para incorporação como adubos verdes, proporcionam uma série de vantagens ao solo, como melhoramento da capacidade de infiltração de água, diminuindo a densidade, aumentando a porosidade total, exploração de diferentes camadas do solo, em diferentes profundidades, controle de pragas, doenças e plantas espontâneas e aumento da produtividade, recuperando áreas degradadas e elementos livres, evitando sua lixiviação e volatilização, fornecendo suprimento de material orgânico ao solo de rápida decomposição e incrementando a atividade microbiana, estimulando a vida edáfica pela presença de rizosferas renovadas e variadas e proporcionando aporte de nitrogênio via fixação biológica (DERPSCH et al., 1991; AITA et al., 2001; SANTOS et al., 2001; SOUZA, 2001; ALTIERI, 2002).

A calagem, prática usualmente empregada em manejo convencional tem seu uso freqüente em sistemas de manejo de bases ecológicas, aumentando a taxa de mineralização da matéria orgânica, proporcionando uma maior disponibilidade do fósforo para as plantas, reduzindo as perdas de potássio por lixiviação, fornecendo cálcio e magnésio e neutralizando a presença de elementos tóxicos e a acidez do solo (BOHNEN, 1995).

O uso do cultivo mínimo no sistema de manejo desenvolvido pelos agricultores visa fundamentalmente minimizar os efeitos da erosão, pela manutenção de parte da cobertura vegetal presente na superfície do solo. Essa prática de cultivo é implementada tanto quando são estabelecidas plantas de cobertura para formação da vegetação de proteção quanto por plantas espontâneas, as quais são manejadas adequadamente, tendo em vista os mesmos benefícios de proteção de superfície e de reciclagem de nutrientes que proporcionam ao solo (FAVERO et al., 2000; ALTIERI, 2002).

Em que pese a contribuição de numerosos trabalhos na área de manejo e conservação do solo para verificar a ação individual de diferentes práticas agrícolas sobre atributos físicos, químicos e biológicos do solo - alguns dos quais citados nessa pesquisa - dentro do enfoque sistêmico e

agroecológico é mais importante e adequado que se faça uma avaliação do efeito do sistema de manejo como um todo.

CONCLUSÕES

O Método Integrativo de Avaliação da Qualidade do Solo permite avaliar adequadamente e em conjunto, diferentes indicadores físicos, químicos e biológicos do solo, analisados no presente trabalho;

Verificou-se uma tendência de recuperação da Qualidade do Solo, na avaliação longitudinal, na propriedade em que o agricultor iniciou suas atividades com sistema de produção de base ecológica a partir de áreas degradadas;

Verificou-se uma melhoria da Qualidade do Solo, na avaliação longitudinal, na propriedade em que o agricultor iniciou suas atividades com sistema de base ecológica a partir de áreas que não haviam sofrido ações antrópicas;

O sistema de manejo utilizado pelos agricultores, pelo uso integrado das diferentes práticas agrícolas que o caracterizam, influenciou positivamente a Qualidade do Solo, contribuindo, conseqüentemente, para uma atividade agrícola sustentável.

REFERÊNCIAS

- AITA, C., BASSO, C. J., CERETTA, C. A., GONÇALVES, C. N., DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, n. 1, p.157-165, 2001.
- ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 592 p.
- ALVARENGA, M. I. N., DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v.23, n. 4, p.933-942, 1999.
- ANDREWS, S.S., MITCHELL, J. P., MANCINELLI, R., KARLEN, D. L., HARTZ, T. K., HORWATH, W. R., PETTYGROVE, G. S., SCOW, K. M., MUNK, D. S. On-farm assessment of soil quality in California's Central Valley. **Agronomy Journal**, Davis, v. 94, p.12-23, 2002.
- BAVER, L. D., GARDNER, W. H., GARDNER, W. R. **Física de Suelos**. México: Editorial Hispano-Americano. 1972. 529 p.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.
- CAMARGO, O. A., ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, 1997, 132 p.
- BOHNEN, H. Acidez e calagem. In: GIANELLO, C., BISSANI, C. A., TEDESCO, M. J. (Eds.) **Princípios de fertilidade do Solo**. Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS, 1995. p. 47-72.
- BRADY, N. C., WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 12. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1999. 882 p.
- CARPENTER-BOGGS, L., KENNEDY, A. C., REGANOLD, J. P. Organic and biodynamic management: effects on soil biology. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v 64, p. 1651-1659, 2000.
- CARTER, M. R. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation. Interactions that maintain soil functions. **Agronomy journal**, Davis, v. 94, p. 38-47, 2002.
- CARVALHO Jr., I. A., FONTES, L. E. F., COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo vermelho-escuro textura média, na região do cerrado. **Revista**

- Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, n.3 p. 505-514, 1998.
- CASALINHO, H.D. **Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas**. 2003.. 187f. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3.ed. Passo Fundo: SBSC- Núcleo Regional Sul/EMBRAPA/CNPT, 1995. 224 p.
- CUNHA, N. G.; SILVEIRA, R. J. C. da. **Estudo dos solos do município de Pelotas**. EMBRAPA/CPACT, Ed. UFPel, 1996. 54 p. **Documentos** CPACT; 12/96.
- DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: GTZ/IAPAR, 1991. 272 p.
- DORAN, J. W., PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W., COLEMAN, D. C., BEZDICEK, D. F., STEWARD, B. A.(eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA. American Society of Agronomy, 1994, p. 3-21(Spec.Public,35).
- DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, Newark. v. 56, p. 30-31, 1996.
- DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied soil ecology**, Dublin: v 15, p. 3-11, 2000.
- EMBRAPA. Serviço nacional de levantamento e conservação do solo. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 228 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília : Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2006. 306p.
- ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S. M. **Apoio à decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. Florianópolis: Insular, 2001. 296 p.
- FAVERO, C.;JUCKSCH, I.; COSTA, L. M.; ALVARENGA, R. C.; NEVES, J. C. L. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v 24, n. 1, p.171-177, 2000.
- GAMA-RODRIGUES, E. F. da. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. (eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.228-243.
- GARZIM, B.; MORAES, M. H. Efeitos da adição de compostos orgânicos nas propriedades físicas e químicas do solo e no desenvolvimento de plantas de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO,28., 2001., Londrina. **Resumos...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Universidade Estadual de Londrina, 2001. p.254.
- GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991. 206 p.
- GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000. 654 p.
- GLOVER, J. D.; REGANOLD, J. P.; ANDREWS, P. K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic and integrated apple orchard in Washington State. . **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Ontário, v. 80, p.29-45, 2000.
- HAGUETTE, T. M. **Metodologias qualitativas na sociologia**. Petrópolis: Ed. Vozes, 1999. 224 p.
- INSAM, H., DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial ecology**, New York, v 15. p.177–188, 1988.
- 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 Science Society American Journal**, Madison. v. 61, p. 4–10, 1997.
- KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979. 264 p.
- LAL, R. **Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97 p.(Documentos 3).
- LEPSCH, I. F. **Manual para levantamento do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. 175 p.
- LIEBMAN, M. Sistemas de policultivos. In: ALTIERI, M. (ed.) **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Guaíba: Agropecuária, 2002. p.347-368.
- MAGDOFF, F. Qualidade e manejo do solo. In: ALTIERI, M. (ed.) **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Guaíba: Agropecuária, 2002. p.519-542.
- MASERA, O., ASTIER, M. , RIDAURA, S. L. **Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS**. México: Mundi-Prensa Mexico, S. A de C.V.1999. 110 p.
- MEINICKE, A. **As minhocas**. Ponta Grossa: Cooperativa Agropecuária Campos Gerais Ltda, COOPENSUL/EMBRAPA. 1983. 124 p.
- MITCHELL, J., GASKELL, M., SMITH, R., FOUCHE, C., KOIKE, S. T. Soil management and soil quality for organic crops. **Vegetable research and information center, publication 7248**, 2000.
- MORSELLI, T. B. G. A.; FERNANDES, H.S.; MARTINS, S. R.; SILVA, J. B. DA. Efeitos da adubação orgânica no acúmulo de matéria orgânica, fósforo e potássio em cultivo sucessivo de alface em ambiente protegido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Resumos...**Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Universidade Estadual de Londrina, 2001. p.205.
- NACHTIGALL, G. R., VAHL, L. C. Parâmetros relacionados à acidez em solos da região sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.2, p. 139 – 143, 1989.
- PAULETTO, E. A. **Manual de laboratório: determinação de atributos físicos do solo**. Pelotas,1997, 59 p.
- PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 1980. 541 p.
- REGANOLD, J. P., GLOVER, J. D., ANDREWS, P. K., HINMAN, H. R. Sustainability of three apple production systems. **Nature**, n 410, p.926 – 930, 2001.
- RUSSELL, A. E. Relationships between crop-species diversity and soil characteristics in southwest indian agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Ontário, v. 92, n. 2-3. p.235-249, 2002.
- SANTOS, A. C.;SILVA, I. F.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, A. P.; CAVALCANTE, V. R. Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, n. 4, p.1063-1071,2001.
- SENA, M. M.; FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J.; TOKESHI, H.; POPPI, R. J. Discrimination of management

effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 67,171-181, 2002. Acesso em: 06.01.2003.

SHARMA, P. K., BHUSHAN, L. Physical characterization of soil amended with organic residues in a rice-wheat cropping system using a single value soil physical index. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 60, 143-152, 2001. Acesso em: 06.01.2003.

SOUZA, J. L.; COSTA, H.; PREZOTTI, L. C. Estudo de sistemas de adubação orgânica e mineral sobre as características do solo, o desenvolvimento de hortaliças e a relação com pragas e doenças ao longo de oito anos. **Horticultura brasileira**, Brasília. v.18, p.826-828, 2000. (suplemento).

SOUZA, M. G.; REYES, C. Estudio de la respuesta de una sucesión de cultivos hortícolas a diferentes abonos orgânicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28, 2001, Londrina. **Resumos...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Universidade Estadual de Londrina, 2001. p.288.

STOLF, R. Teoria e testes experimentais de fórmulas de

transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.15, n.3, p.229-235, 1991. TEDESCO, M. J., GIANELLO, C.; BISSANI, C. A., BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. *Análise de solos, plantas e outros materiais*. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Soil quality test kit guide**. NRCS/ Soil Quality Institute. Washington, 1998. 82 p. Acesso em: 22.04.1999

UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Guidelines for soil quality assessment in conservation planning**. NRCS/Soil Quality Institute. 2001. Acesso em: 03.11.2001.

VANCE, A.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**. Oxford, v.19, n.6, p.7033-707, 1987.

WELLS, A. T.; CHAN, K. Y.; CORNISH. Comparison of conventional and alternative vegetable farming systems on the properties of a yellow earth in New South Wales. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Ontário, v.80, n.1-2, p.47-60, 2000.