

DESARROLLO DE NUEVOS INDICADORES PARA EVALUACIÓN INTEGRADA DE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA DEL SUELO

VALARINI, PEDRO J.⁽¹⁾; FRIGHETTO, ROSA T. S.⁽¹⁾; DORNEIAS, MANOEL⁽¹⁾ Y SCHIAVINATO, RICARDO J.⁽²⁾

⁽¹⁾ Investigadores de Embrapa Meio Ambiente CP69 13820-000 Jaguariúna, SP
E-mail: valarini@cnpma.embrapa.br

⁽²⁾ Ingeniero Agrónomo Finca Sula 13930-000 Serro Negro, SP (BRASIL)

RESUMEN

Considerando que el análisis química no permitió diferenciar suelos bajo manejo orgánico y convencional, el objetivo de ese trabajo fue desarrollar indicadores complementarios biológicos, bioquímicos y físicos para la inserción al sistema de Evaluación Ponderada del Impacto Ambiental de actividades del Nuevo Rural (APOIA-NuevoRural). Para tal, muestras de suelo de diez establecimientos dedicados a horticultura orgánica y diez otros a horticultura convencional del Estado de São Paulo fueron colectadas en las profundidades de hasta 20cm para el análisis biológica, bioquímica y muestras de 20, 40 e 60 cm para el análisis física. Se utilizó como control suelos de áreas de vegetación nativa o de pastoreo natural. Los resultados del análisis integrada seleccionaron indicadores físicos (estabilidad de agregados (DMP), arcilla dispersa, capacidad de campo, biológicos y bioquímicos (biomasa microbiana, polisacáridos, patógenos y actividad enzimática en deshidrogenase) que presentaron valores superiores en promedio de 49,5% y 38,0%, respectivamente, para detectar diferencias en la capacidad productiva de los suelos del manejo orgánico en relación con el convencional y para la mayoría de los hay correlación significativa. Los resultados permitirán concluir que esos indicadores mejor califican el suelo, proporcionando una mayor contribución del manejo orgánico para el desarrollo local sostenible.

PALABRAS CLAVE: PROPIEDADES DEL SUELO, AGRICULTURA ORGÁNICA Y CONVENCIONAL, HORTICULTURA Y EVALUACIÓN

1 ▶ INTRODUCCIÓN

En el medio rural brasileño viene emergiendo actividades agrícolas y no-agrícolas, en sustitución a los tradicionales usos agrícolas de la tierra, configurando lo que tiene sido denominado de el 'Nuevo Rural' (Campanhola & Silva, 2000).

En la actualidad, también prácticas agrícolas alternativas contribuyen para estos cambios, acentuando la importancia en la búsqueda de la sustentabilidad de las actividades desarrolladas en el ambiente rural. Entre las practicas y formas alternativas del manejo, con importante inserción en el Nuevo Rural, se destaca la agricultura orgánica como una de las alternativas de rienda para los pequeños productores, debido a la creciente demanda mundial por alimentos más saludable (Campanhola & Valarini, 2001).

Independiente del sistema de producción utilizado, el proceso de modernización de la agricultura ocurrido, principalmente, en la década de los sesenta con la llamada 'revolución verde' desvalorizó los procesos naturales y biológicos y privilegió las tecnologías agrícolas, tales como, el monocultivo, el uso indiscriminado de los plaguicidas, la utilización de fertilizantes químicos y orgánicos, la mecanización.

Este paquete tecnológico agrícola elevó significativamente, la productividad de los cultivos, pero en cambio generó incontables problemas ambientales entre los cuales la disminución de la productividad por la degradación del suelo con erosión, compactación, salinidad y pérdida de la materia orgánica y el aumento de la resistencia de la plagas, y molestias que en último caso, provocó alteraciones en la cualidad del suelo por cambios o degeneración de las propiedades físicas, químicas y biológicas (Siqueira, 1993; Fauci & Dick, 1994; Frighetto *et al.*, 1998; Valarini *et al.*, 1999; Souza & Resende, 2003).

Considerando que las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo interaccionan y determinan la capacidad de la planta en producir alimentos saludable y nutritivos, la calidad del suelo puede mejorar o se deteriorar en función del manejo de los sistemas de producción (Mäder *et al.*, 1999).

Históricamente, las propiedades físicas y químicas han sido utilizadas como parámetros indicativos de la productividad del suelo en su estado natural. Entretanto, como los cambios en el contenido de materia orgánica son mucho lentos y, consecuentemente, muchos años son requeridos para ser detectada alteraciones, a partir de los años noventa, ha crecido la importancia de los procesos y parámetros biológicos y bioquímicos medidos en el suelo como indicadores más sensibles de las alteraciones del estrés o recuperación ecológica del suelo (Dick, 1994; Dilly, 1998; Mendes, 2002; Valarini *et al.*, 2003).

Para el estudio integrado, Fauci & Dick (1994), Dilly & Blume (1998), Frighetto & Valarini (2000) y Valarini *et al.*, 2003) recomiendan algunos indicadores bioquímicos para medir actividades microbiológicas en la calidad del suelo, como por ejemplo, ergosterol para

medir el crecimiento de los hongos, actividades enzimáticas en deshidrogenase y esterase, biomasa microbiana y polisacáridos.

En ese sentido, la análisis integrada del suelo para la determinación de su capacidad productiva y el equilibrio nutricional de la planta en diferentes sistemas de manejo constituyó una herramienta importante para establecer medidas correctivas o alternativas en la búsqueda de la sustentabilidad de los agroecosistemas emergentes, en especial del sistema orgánico.

Considerando que el análisis química del suelo, inserido en la evaluación de lo desempeño ambiental de los manejo hortícola orgánico y convencional, realizada usándose el sistema de Evaluación Ponderada del Impacto Medio Ambiental de la actividades del Nuevo Rural (APOIA-NuevoRural) (Rodrigues *et al.*, (2003), no se detectó diferencias en la capacidad productiva, este trabajo tuvo como objetivo seleccionar indicadores biológicos, bioquímicos y físicos del suelo que analizados de forma integrada a los químicos puedan componer un módulo complementar más seguro y más sensible de evaluación de la calidad del suelo.

2 ▶ MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en diez establecimientos dedicados a la horticultura convencional y diez dedicados a la horticultura orgánica oriundos de los municipios Serra Negra, Araraquara, Divinolândia, Amparo, Socorro, Indaiatuba, Itupeva, Santo Antonio de Posse y Louveira en le interior del Estado de São Paulo, Brasil, durante el año de 2001.

Los establecimientos fueron seleccionados por indicación de pares, procurándose muestras de situaciones variadas y contrastantes en términos de ambiente y inserción económica.

Paralelamente al levantamiento de informaciones junto a los productores, realizadas con la aplicación de encuesta previamente desarrolladas en la elaboración del método APOIA-NuevoRural de Rodrigues & Campanhola (2003), para la elaboración del módulo complementario, fueran colectadas nuevas muestras de suelo en las profundidades hasta 20 cm para análisis biológica y bioquímica y de 20, 40 y 60 cm para análisis física. Para el análisis biológica, las muestras fueran acondicionadas en cajas de isopor para evitar variaciones bruscas de temperatura y humedad durante el transporte.

Se utilizó como control, suelos de áreas de vegetación nativa o de pastoreo natural. En laboratorio, las muestras de suelo fueran procesadas y sometidas a las análisis físicas, químicas, biológicas y bioquímicas, usándose parámetros y metodologías descritas en Tedesco *et al.*(1995), Embrapa (1997) y Frighetto & Valarini (2000). Para las análisis microbiológicas y bioquímicas fueran consideradas 4 repeticiones y la comparación estadística de promedias fue realizada con el teste de Tukey. Fueran hechas análisis de correlación.

3 ▶ RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una tabla resumen del desempeño ambiental de la horticultura, en el universo comprendido por el estudio puede ser observado en la Tabla 1, que presenta el cociente entre las formas de manejo orgánico y convencional, en cada una de las dimensiones consideradas en el sistema APOIA-NuevoRural. En el caso específico de la cualidad del compartimiento ambiental, suelo, evaluado por el análisis química, no se han observado diferencias en los valores promedios entre los suelos orgánico y convencional (Rodríguez *et al.*, 2003).

Tabla 1. Cociente entre los índices de impacto medio ambiental según las dimensiones del método APOIA-NuevoRural, en establecimientos de horticultura convencional y orgánica

DIMENSIONES ÍNDICES	HORTICULTURA ORGÁNICA	HORTICULTURA CONVENCIONAL	COCIENTE A/B
	(A)	(R)	
Ecología de la paisaje	0.68	0.57	1.19
Calidad de los compartimientos ambientales	0.77	0.75	1.03
Atmósfera	0.77	0.77	1.00
Agua	0.79	0.70	1.13
Suelo	0.76	0.77	0.99
Valores socioculturales	0.66	0.62	1.07
Valores económicos	0.73	0.70	1.04
Gestión y administración	0.71	0.42	1.74
ÍNDICE DE IMPACTO AMBIENTAL	0.72	0.66	1.09

En la Tabla 2, entretanto, observas que algunos indicadores físicos (estabilidad de agregados (DMP), coeficiente de dispersión (arcilla disuelta) y capacidad de campo), biológicos y bioquímicos (biomasa microbiana, polisacáridos, patógenos y actividad enzimática de la deshidrogenasa) presentaron valores superiores, en promedio de 49,5% y 38,0%, respectivamente, sendo más sensibles para detectar diferencias en la capacidad productiva de los suelos en el manejo orgánico con relación al convencional. Los valores menores que 1 observados en la relación A/B para los indicadores relacionados con asterisco(*) muestran que el suelo orgánico presentase con menor índice de salinidad (conductividad eléctrica), con menor compactación y mejor estructura física (coeficiente de dispersión) y con menor potencial de Inóculo (número de propágulos de patógenos por gramo de suelo) que de lo convencional.

Tabla 2. Resultados de análisis de las muestras de suelo de los cultivos orgánico y convencional

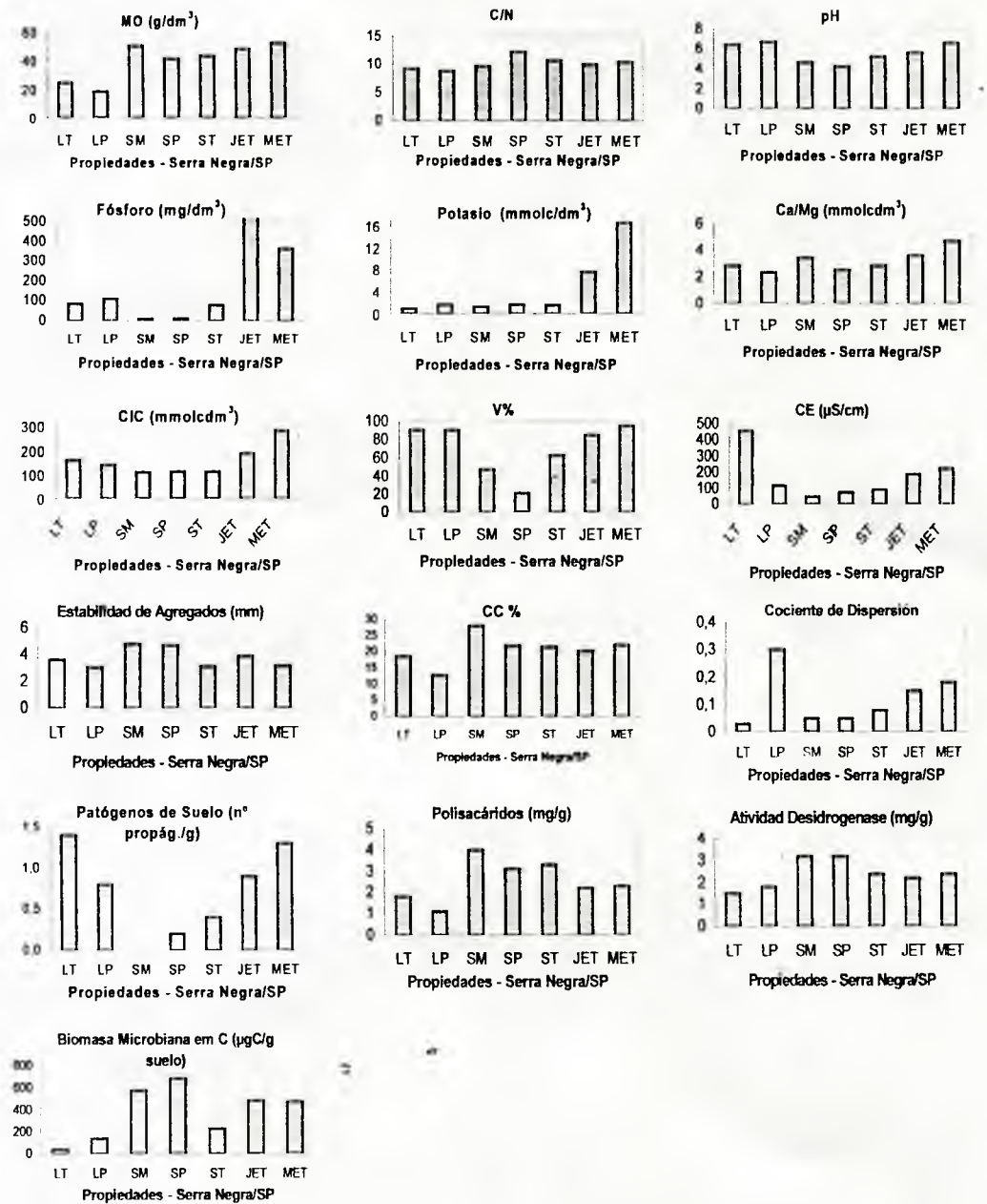
	ORGANICO (A)	CONVENCIONAL (B)	A/B
Parámetros / Indicadores químicos			
Materia Orgánica (%)	3,67	3,8	0,97
pH CaCl ₂	5,52	5,48	1,01
P resina mg/dm ³	62,00	96,60	0,64
K mmolc/dm ³	4,38	5,74	0,64
Ca mmolc/dm ³	66,93	94,31	0,71
Mg troc. mmolc/dm ³	12,58	20,75	0,61
H + Al mmolc/dm ³	21,03	17,50	1,20
Soma de bases mmolc/dm ³	72,79	102,77	0,71
CIC mmolc/dm ³	117,26	132,63	0,88
Saturación por bases-V%	69,69	70,58	0,99
Parámetros / Indicadores físicos			
Análisis textural	franco arcilla-arena		franco arcilla-arena
Conductividad Eléctrica - uS/cm	65,56	134,04	0,49*
Cociente de dispersión	0,11	0,17	0,65*
Capac. de Campo -%CC	20,51	18,37	1,12
DMF o DMP	3,93	2,28	1,72
Parámetros / Indicadores biológicos / bioquímicos			
Biomasa Microbiana ugC/g suelo	407,89	303,81	1,34
Polisacáridos mg/g suelo	1,74	1,40	1,24
Deshidrogenase mg/g suelo	14,04	9,37	1,50
Nº de propágulos patógenos/g suelo	0,60	1,36	0,44*

* Indicadores que muestran mejor desempeño de lo manejo orgánico

Esos resultados pueden ser observados en los Gráficos 3 y 4, tomándose como ejemplos algunas propiedades orgánica y convencional de los municipios de Serra Negra y Araraquara,

SP que son comparadas con el control (vegetación o pastoreo). En el caso de los suelos convencionales se nota claramente, que a pesar del contenido de materia orgánica similar al del orgánico, los indicadores físicos muestran que el suelo está más compactado y con menor agregación de partículas. Trabajo realizado por JORGE (1986) muestra que las condiciones físicas de los suelos agrícolas brasileños está sufriendo cambios constantes. Con la elevación de la densidad global del suelo provocada por compactación, ocurre una serie de fenómenos desfavorables, como atraso en la emergencia de las plantas, disminución del vigor del sistema radicular, encharcamiento de agua, escorrentía superficial y erosión excesiva. Siendo la salinidad equivalente al acumulo de cationes y aniones en el suelo, la utilización de abonados mineral elevada y el acentuado uso de riego por goteo, provoca un acumulo de sales en la parte superficial del suelo. Con el uso continuo de la misma área del suelo, la salinidad podrá atingir valores fitotóxicos para la mayoría de las culturas en cultivo protegido o en cielo abierto, reduciendo la producción y favoreciendo la ocurrencia de plagas y molestias (Müller & Vizzotto, 1999). Según Cardoso (1990), Valarini (1994) y Valarini *et al.* (2000), niveles de epifitias son generalmente estimulados por manejo inadecuado del suelo como cultivos sucesivos de judía o otras especies susceptibles, donde los niveles de infestación son tan elevados, tales como, 1 propágulos de *Rhizoctonia solani* o 0,2 escleródios de *Sclerotinia sclerotiorum*, o aun, 1 a 3 x 1000 propágulos de *Fusarium spp* por gramo de suelo y suficientes para causar epidemias de forma que la explotación económica del cultivo tornase inviable, conforme obtenido en el trabajo con el indicador biológico patógenos de suelo en manejo convencional (Tabla 2).

De hecho, en los Gráficos 3 y 4 observase que la grande diferencia entre la cualidad de los suelos bajo manejo orgánico y convencional es suministrada por indicadores biológicos, bioquímicos y físicos que siendo el suelo más estructurado y con mayor actividad biológica, hay mayor disponibilidad de los nutrientes para las plantas y mejor desenvolvimiento de su sistema radicular, dando el acceso de la raíz al mayor volumen de suelo y, consecuentemente, a los nutrientes y el agua, tornando más resistente a las molestias y plagas, consecuentemente más productivas. El análisis de correlación de los parámetros evaluados muestran correlación significativa entre los indicadores, destacándose: biomasa microbiana x polisacáridos ($r = 0,8264^{**}$), biomasa microbiana e FDA ($r = 0,8953^{**}$), polisacárido x actividad en deshidrogenase ($r = 0,8466^{**}$), Polisacárido x capacidad de campo ($r = 0,9173^{***}$), Polisacárido x patógeno del suelo ($r = -0,7582^*$), actividad en deshidrogenase x estabilidad de agregados ($r = 0,7360^*$) y polisacárido x estabilidad de agregados ($r = 0,7488^*$), posibilitando obtener resultados seguros y, al mismo tiempo, optar por un único de ellos como la misma confiabilidad en los resultados concordando con Valarini *et al.* (2003). Esos resultados obtenidos con los parámetros biológicos, bioquímicos y físicos permiten expresar los cambios sutiles que ocurren en el suelo, con seguridad y confiabilidad, constituyéndose en importantes indicadores complementarios a las análisis químicas de evaluación de la cualidad y capacidad productiva del suelo, contribuyendo para la sustentabilidad de los agroecosistemas. La identificación y el mejor conocimiento de esos indicadores son fundamentales tanto para incentivar los agricultores que ya están adoptando sistemas agrícolas alternativos y conservacionistas, cuanto para alertar aquellos que adoptan sistemas de manejo convencionales que llevan hasta la degradación del suelo.



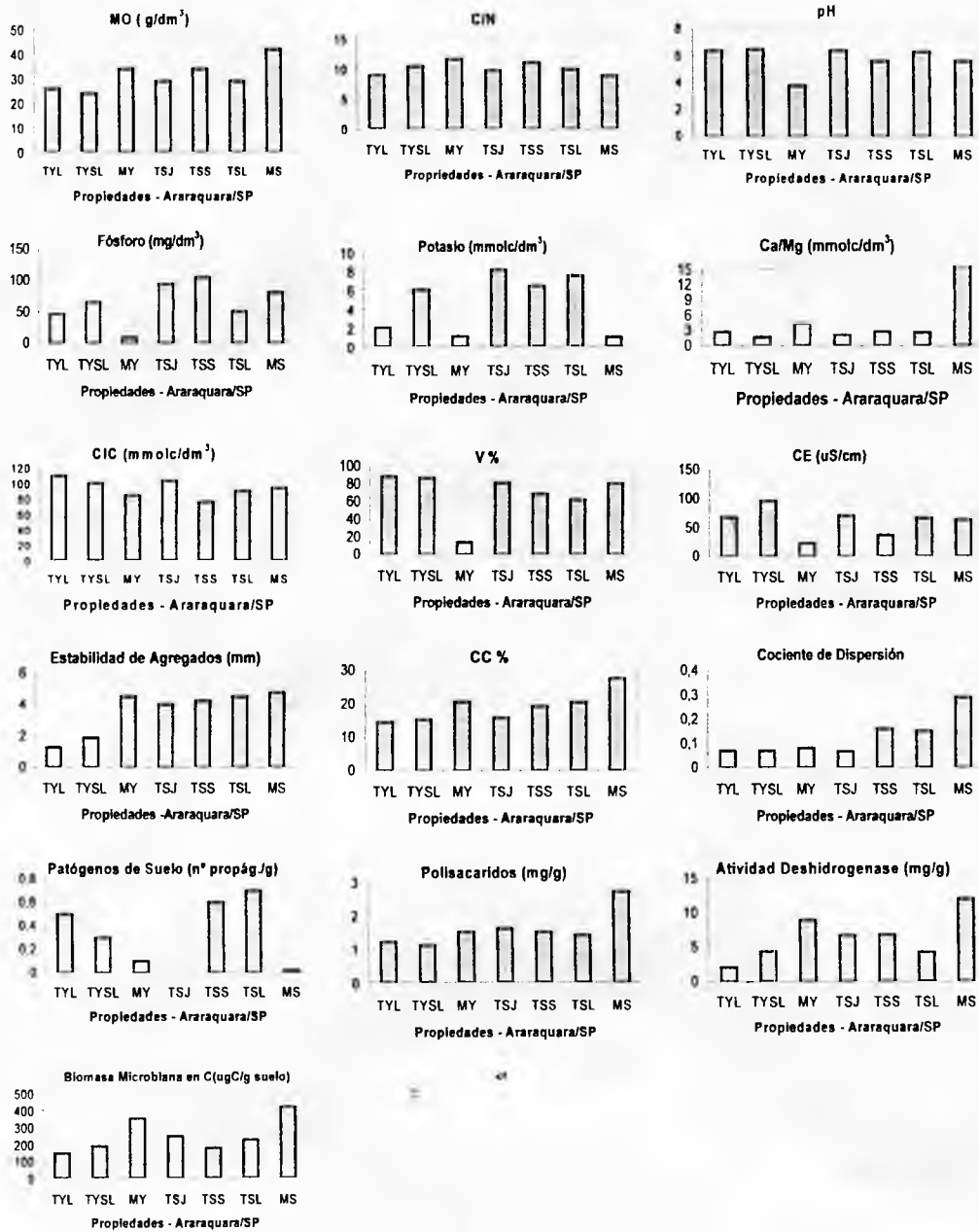


Gráfico 4. Resultados de los indicadores químicos, físicos y biológicos más importantes de las análisis muestras de suelo de dos propiedades con cultivo de diversas variedades de tomate.

Araraquara — SP, Tratamientos: TYL - Tomate Yafuso - Leticia; TYSL — Tomate Yafuso SL2844; MY - Mata Yafuso; TSJ — Tomate Sambiase Jane; TSS - Tomate Sambiase Saladete; TSL - Tomate Sambiase Leticia; MS — Mata Sambiase.

4 ▶ CONCLUSIONES

Los resultados del análisis integrada permitirán seleccionar indicadores físicos (estabilidad de agregados (DMP), coeficiente de dispersión (arcilla dispersa) y capacidad de campo), biológicos y bioquímicos (biomasa microbiana, polisacáridos, patógenos y deshidrogenase) para detectar diferencias en la capacidad productiva de los suelos bajo manejo orgánico en relación con el convencional y, para a mayoría de ellos, hay correlación significativa. Los resultados permitirán concluir que esos indicadores son más sensibles y seguro para mejor calificar el suelo, proporcionando a los productores una mayor contribución del manejo orgánico para el desarrollo local sostenible.

5 ▶ BIBLIOGRAFIA

- **CAMPAHOLA, C. Y GRAZIANO DA SILVA, J. 2000**
O Novo Rural Brasileiro: uma Análise Nacional. Jaguariúna (SP): Embrapa Meio Ambiente, 190p.
- **CAMPAHOLA, C. Y VALARINI, P. J. A. 2001**
A Agricultura orgânica e seu potencial para o pequeno agricultor. Cadernos de Ciência & Tecnologia, v. 18, n.3, p69-101.
- **CARDOSO, J. E. 1990**
Fungos de solo na cultura do feijoeiro irrigado. p.61-70 In: Fancelli, A . L. Feijão Irrigado. Piracicaba. ESA/LQ/USP, FEALQ.. 130 p.
- **DILLY, O. Y BLUME, H. P. 1998**
Indicators to assess sustainable land use with reference to soil microbiology. Adv. GeoEcol., 31:29-36.
- **DORAN, J. W. Y PARKIN, J. B. 1994**
Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bezdicek, D. F. y Stewart, B. A., ed. Defining soil quality for a sustainable environment. Minneapolis, Soil Science Society of America. cap.1, p.3-22. (SSSA Special Publication, 35).
- **EMBRAPA. SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS 1997**
Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos,1).
- **FAUCI, M. F. Y DICK, R. P. 1994**
Microbial biomass as an indicator of soil quality: effects of long-term management and recent soil amendments. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bezdicek, D. F. & Stewart, B. A., ed. Defining soil quality for a sustainable environment. Minneapolis, Soil Science Society of America. cap.17, p.229-234. (SSSA Special Publication, 35).
- **FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J.; TOKESHI, H.; FILIZOLA, H. F.; FELIPE, A. Y OLIVEIRA, D. A. 1998**
Effects of management practices on soil physico-chemical, biochemical and microbial parameters under irrigated agriculture. In: Conferência Internacional IFOAM 98, S 9. n° 158.
- **FRIGHETTO, R. T. S. Y VALARINI, P. J. 2000**
Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente. 198p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 21).



- **MÜLLER, J. J. V. y VIZZOTTO, V. J. 1999**
Manejo do solo para produção de hortaliças em ambiente protegido. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 20 (200/201): 32-35.
- **JORGE, J. A. 1986**
Compactação do solo: causas, consequências e maneiras de evitar sua ocorrência. Campinas, Instituto Agronômico. 22p. (Circular, 117).
- **MÄDER, P.; PEIFFNER, L.; FLIESSBACH, A.; VON - LÜTZOW, M. y MUICH, J. C. 1999**
Soil ecology- Impact of organic and conventional agriculture on soil biota and its significance for soil fertility. In: International Conference on Kyusei Nature Farming, 5., Bangkok, 1997. Proceedings. Bangkok, Asia Pacific Natural Agriculture Network. p.24-40.
- **RODRIGUES, G. S. y CAMPANHOLA, C. 2003**
Sistema integrado de avaliação de impacto ambiental aplicado a atividades do Novo Rural. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 38 (4):445-451.
- **RODRIGUES, G. S.; VALARINI, P. J. y CAMPANHOLA, C. 2003**
Módulo complementar de capacidade produtiva do solo para o método de avaliação ponderada de impacto ambiental de atividades do novo rural (Apóia-Novorural) In: Congresso Brasileiro de Agroecologia, 1, Porto Alegre, CD ROM 4p.
- **SOUZA, J. L. y RESENDE, P. 2003**
Manual de horticultura orgânica. Voçosa: aprenda Fácil. 564p.
- **TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H.; GIANELLO, C. y BISSANI, C. 1995**
Análise de solos, plantas e outros materiais. 2.Ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 215p.
- **VALARINI, P. J. 1994**
Manejo de doenças do solo em cultura de feijão sob irrigação por pivô central. p. 59-74. In: Lourenção, A. L.; Ambrosano, E. J.; Patricio, F. R. A. Seminário sobre Pragas, doenças e plantas daninhas do feijoeiro, 5, Piracicaba, ANAIS. Campinas, 1994. 124 p.
- **VALARINI, P. J.; FRIGHETTO, R. T. S.; TOKESHI, H.; SCRAMIN, S.; SILVEIRA, A. P. D.; VALARINI, M. J. y OLIVEIRA, D. A. 1999**
Physico-chemical and microbiological properties of soil as affected by irrigated agricultural systems. In: Foguelman, D.; Lockeretz, W., ed. Organic agriculture the credible solution for the XXIst Century: proceedings of the 12th International IFOAM Scientific Conference, Mar del Plata, 1999. Mar Del Plata, IFOAM, 1999. p.165-171.
- **VALARINI, P. J.; TOKESHI, H. y FRIGHETTO, R. T. S. 2000**
Potencial de sistemas alternativos de produção no controle de patógenos de solo em agricultura irrigada. Fitopatologia Brasileira, Brasília, v. 25^o, supl., p.431, (Resumo).
- **VALARINI, P. J.; DIAZ ALVAREZ, M. C.; GASCÓ, J. M.; GUERRERO, F. y TOKESHI, H. 2003**
Assessment of soil properties by organic matter and EM-microorganism incorporation R. Bras. Ci. Solo, 27:519-525.