

# Efeito de sistemas de preparo e de fontes de nutrientes sobre a fertilidade do solo e o crescimento e produção de milho<sup>1</sup>

Milton da Veiga<sup>2</sup>, Dalvan José Reinert<sup>3</sup> e  
Carla Maria Pandolfo<sup>4</sup>

**Resumo** – O objetivo principal do preparo do solo é criar um ambiente favorável para o crescimento e desenvolvimento das culturas. O efeito do sistema de preparo utilizado pode ser alterado pela aplicação de fontes orgânicas e minerais de nutrientes. Foi desenvolvido um estudo pela Epagri em Campos Novos, SC, sobre um Nitossolo Vermelho, para avaliar o efeito acumulado de sistemas de preparo do solo associados à aplicação de nutrientes de diferentes fontes ao longo de nove anos, sobre a fertilidade do solo, o crescimento e a produção do milho no décimo ano. Os sistemas de preparo e as fontes de nutrientes apresentaram efeito acumulado sobre os indicadores básicos de fertilidade do solo. Os sistemas de preparo com resíduos mantidos na lavoura proporcionaram maior crescimento e produção de milho do que quando queimados e retirados da lavoura. Menor fertilidade foi observada no tratamento com remoção de resíduos. Maior crescimento e maior produção de milho foram obtidos com a aplicação de esterco de aves e de suínos, devido ao efeito acumulado sobre a fertilidade do solo, pois maiores quantidades de P e K foram aplicadas via adubo mineral na semeadura, no décimo ano.

**Termos para indexação:** plantio direto, preparo convencional, índice de área foliar, adubação orgânica.

## Effect of soil tillage and nutrient sources on soil fertility and corn growth and production

**Abstract** – The general purpose of the tillage is to create a soil environment favorable to desired plant growth and development. However, tillage effects on soil properties can be affected by nutrient application through mineral and organic sources. This study was carried out at Epagri/Experiment Station of Campos Novos, in Santa Catarina State, on a Typic Haplorthox soil, in order to evaluate long-term effect of using soil tillage systems, associated with nutrient sources, on soil fertility and crop production. Soil tillage and nutrient sources had cumulative effect on basic soil fertility properties. Lower soil fertility was observed in conventional tillage with residues removed from the field. Soil tillage with crop residues on the field provided higher corn growth and production than others. Greater corn growth and production with poultry litter and pig slurry are related to greater cumulative effect on soil fertility until the tenth year, since greater amount of P and K were applied at seeding time by mineral fertilizers in that year.

**Index terms:** No-till, chisel plow, conventional tillage, leaf area index, organic manure.

## Introdução

A adoção de sistemas conservacionistas de preparo do solo para implantação de culturas anuais no Brasil tem aumentado nos últimos anos, com destaque para o sistema

plantio direto. Este sistema, caracterizado pela realização da semeadura sem preparo prévio do solo, foi utilizado em mais de 22 milhões de hectares na safra 2003/04, o que corresponde a mais da metade da área cultivada com cultu-

ras anuais no Brasil.

O preparo do solo geralmente provoca alterações nas características químicas e físicas deste (Derpsch et al., 1991; Beutler et al., 2003), tanto pelo seu efeito sobre a erosão do solo como pelo revolve-

Aceito para publicação em 16/8/05.

<sup>1</sup>Parte do trabalho de tese de doutorado em Ciência do Solo do primeiro autor.

<sup>2</sup>Eng. agr., Dr., Epagri/Estação Experimental de Campos Novos, C.P. 116, 89620-000 Campos Novos, SC, fone/fax: (49) 3541-0748, e-mail: milveiga@epagri.rct-sc.br.

<sup>3</sup>Eng. agr., Ph.D., Depto. de Solos/CCR/UFMS, 97105-900 Santa Maria, RS, fone: (49) 3220-8108, e-mail: dalvan@smail.ufsm.br.

<sup>4</sup>Eng. agr., Dr. Epagri/Estação Experimental de Campos Novos, e-mail: pandolfo@epagri.rct-sc.br.

mento ou não da camada preparada, alterando a concentração e o perfil de distribuição dos nutrientes e as relações massa/volume do solo. A aplicação superficial de nutrientes nos sistemas conservacionistas de preparo do solo, principalmente no plantio direto, pode resultar em perda significativa de nutrientes por escoamento superficial e volatilização (Basso, 2003), o que pode determinar menor acúmulo no solo comparativamente à incorporação ou semi-incorporação destes em sistemas de preparo nos quais não ocorre erosão significativa. Menores taxas de erosão, por sua vez, geralmente são encontradas em sistemas de preparo com baixa mobilização do solo e/ou que mantenham o máximo de resíduos na superfície (Beutler et al., 2003).

Pesquisas têm indicado que a aplicação dos esterços tem impacto significativo nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, e a magnitude do efeito depende da sua composição química e física, da dose aplicada e do modo, época e frequência de aplicação. Os esterços são fontes de macronutrientes (como N, P, K, Ca, Mg, S) e de alguns micronutrientes essenciais às plantas e podem ser utilizados como fontes de nutrientes em substituição aos adubos minerais (Scherer & Bartz, 1984; Scherer et al., 1984), desde que considerados os aspectos econômicos de sua aquisição e/ou distribuição.

O objetivo deste trabalho foi o de avaliar o efeito de sistemas de preparo, associados à aplicação de nutrientes através de diferentes fontes, sobre a fertilidade do solo ao final de nove anos de condução do experimento e sobre o crescimento e produção de milho cultivado no décimo ano (safra 2003/04).

## Metodologia

O estudo foi efetuado em um experimento implantado em maio de 1994 na Epagri/Estação Experimental de Campos Novos, em um Nitossolo Vermelho (Embrapa, 1999) com 70% de argila, 3,16% de matéria orgânica e 92% de saturação de bases na camada superficial (zero a 23cm) por ocasião da instalação do experimento.

O desenho experimental consis-

tiu em um fatorial 5 x 5, com 25 tratamentos dispostos em blocos casualizados com sorteio dirigido (os três tratamentos com preparo convencional constituíram um sub-bloco em cada bloco), com três repetições. Os tratamentos corresponderam a uma combinação de sistemas de preparo do solo (PD = plantio direto; PE = preparo com escarificador; PC = preparo convencional; PCq = preparo convencional com resíduos queimados; e PCr = preparo convencional com resíduos retirados) com fontes de nutrientes (T = testemunha, sem aplicação de nutrientes; AM = adubo mineral de acordo com a recomendação para manutenção de cada cultura comercial; EA = 5t/ha/ano de cama de aviário, base úmida; EB = 60m<sup>3</sup>/ha/ano de esterco líquido de bovinos; e ES = 40m<sup>3</sup>/ha/ano de esterco líquido de suínos). Os tratamentos de preparo do solo foram aplicados em faixas transversais ao declive principal e os de fontes de nutrientes, transversalmente aos tratamentos de preparo do solo. Os tratamentos foram aplicados a cada ano, por ocasião da implantação das culturas comerciais de primavera/verão, em faixas de 6m de largura e 30m de comprimento.

As culturas foram semeadas em um sistema de rotação de culturas de três anos, envolvendo espécies para produção de grãos (soja, milho e feijão) no período primavera/verão e plantas de cobertura do solo (triticale ou centeio, vicia comum e aveia-preta) no período de outono/inverno. As plantas de cobertura do solo foram semeadas no outono, através de semeadura direta. No décimo ano foi semeada vicia comum consorciada com aveia-preta (respectivamente, 75% e 25% da população recomendada para cada cultura) em abril de 2003 e milho híbrido duplo (4,5 plantas/m linear, com 0,7m entre linhas) no final de outubro de 2003. Nesse ano foi aplicada adubação nitrogenada de cobertura em todos os tratamentos de fontes orgânicas de nutrientes (EA, EB e ES), na mesma dose recomendada para a adubação mineral.

As análises químicas do solo foram realizadas no Laboratório de Análise do Solo da Epagri/Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar

– Cepaf –, em Chapecó, SC, em amostras coletadas no final do nono ano de experimentação (abril de 2003), nas camadas de zero a 5, 5 a 10 e 10 a 20cm de profundidade, utilizando metodologia descrita por Tedesco et al. (1985). No mesmo laboratório foram efetuadas as análises químicas dos materiais orgânicos utilizados como fontes de nutrientes, em amostras coletadas a cada ano por ocasião da aplicação, utilizando-se metodologia descrita pelos mesmos autores. As quantidades de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e K<sub>2</sub>O aplicadas através das diferentes fontes ao longo de nove anos (acumulado) e no décimo ano de experimentação são apresentadas na Tabela 1.

A altura das plantas foi determinada semanalmente até o completo florescimento, medindo-se, antes do florescimento, a distância entre a superfície do solo até o cruzamento das duas últimas folhas e, após o florescimento, até o final do pendão. A área foliar total de uma planta representativa por parcela foi determinada semanalmente, da emergência ao início do florescimento (66 dias após emergência), quando as determinações foram suspensas em função da ocorrência de granizo, que resultou em danos às folhas e inviabilizou esta determinação. O índice de área foliar (IAF) (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) foi calculado a partir do comprimento e largura das folhas fotossinteticamente ativas, utilizando-se a equação (Zhang & Brandle, 1997):

$$IAF = \left[ \sum_{i=1}^n (C_i * L_i * 0.75) * P \right] \quad (1)$$

em que *C* é o comprimento da folha (m), *L* a largura da folha (m), *P* a população de plantas de milho (plantas/m<sup>2</sup>), *i* o número da folha, *n* o número de folhas fotossinteticamente ativas e, 0,75 o fator para correção da forma da folha.

A produção de milho foi determinada em 16,8m<sup>2</sup> de área útil (seis linhas com 4m de comprimento e 0,7m entre linhas) em cada parcela e calculada em base de quilos por hectare de grãos com 13% de umidade. A análise estatística foi efetuada usando o pacote estatístico SAS (SAS, 1989) e envolveu a análise da variância e o teste de comparação de médias (Tukey, P < 0,05).

Tabela 1. Total de nutrientes aplicados durante nove anos (acumulado) e no décimo ano de experimentação, utilizando diferentes fontes

Fonte de nutriente	Nutriente		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>Nove anos</b>	.....kg/ha.....		
Esterco de aves	1.106	847	882
Esterco de bovinos	732	531	1.019
Esterco de suínos	1.000	1.507	526
Adubação mineral	675	450	690
<b>Décimo ano</b>			
Esterco de aves	29 <sup>(1)</sup>	34	15
Esterco de bovinos	43 <sup>(1)</sup>	23	44
Esterco de suínos	118 <sup>(1)</sup>	116	40
Adubação mineral	47 <sup>(1)</sup>	70	100

<sup>(1)</sup>Através da fonte e adubação de cobertura com 93kg/ha de N de fonte mineral.

## Resultados e discussão

Os resultados de pH, fósforo disponível e potássio trocável para a camada de zero a 20cm (média ponderada das profundidades de zero a 5, 5 a 10 e 10 a 20cm), ao final de nove anos de condução do experimento, são apresentados na Tabela 2. Não houve interação entre os sistemas de preparo do solo e as fontes de nutrientes para os indicadores de fertilidade do solo estudados. Desta forma, os testes de comparação de médias foram efetuados entre os sistemas de preparo, para o conjunto das fontes de nutrientes, e entre as fontes de nutrientes, para o conjunto dos sistemas de preparo do solo. Considerando em conjunto as fontes de nutrientes, os sistemas de preparo apresentaram, ao final de nove anos de aplicação dos tratamentos, teores médios de fósforo disponível (P) e altos de potássio trocável (K).

Os sistemas de preparo do solo apresentaram efeito significativo sobre a fertilidade do solo (Tabela 2). Menores valores de pH, P e K foram encontrados no PCr devido à remoção dos resíduos da lavoura, resultando em maior exportação de nutrientes, incluindo bases

trocáveis. Os valores intermediários de P e K encontrados no PD podem estar relacionados à perda destes nutrientes dissolvidos na água de escoamento superficial e consequente não-acúmulo no solo, uma vez que as fontes foram aplicadas superficialmente, sem incorporação. A perda de nutrientes por escoamento superficial pode ser significativa quando ocorrem chuvas de alta intensidade nos primeiros dias após a aplicação superficial de esterco (Basso, 2003), evento frequente na região no período de primavera/verão (Beutler et al., 2003). A incorporação parcial dos nutrientes nos tratamentos com preparo do solo, através de gradagem, pode ter reduzido a perda por escoamento superficial, resultando em maiores níveis de K nos sistemas com preparo em relação ao PD (exceto PCr), já que a erosão nos tratamentos com preparo foi negligível (observação visual).

A variação nos teores de P e K observada entre as fontes de nutrientes foi devida às diferenças entre o que foi aplicado (Tabela 1) e o que foi exportado durante o período de nove anos. Por outro lado, menores valores de P e K foram encontrados na testemunha, em função da não-aplicação de

nutrientes no período. O maior valor de pH encontrado no EA pode estar relacionado à maior quantidade de matéria orgânica adicionada e à presença de óxido de cálcio na cama de aviário, o qual é adicionado para prevenir doenças e possibilitar a utilização da mesma cama por vários lotes. Este balanço resultou em maior disponibilidade de P no EA e ES e de K na adubação mineral. O menor teor de K no ES está relacionado à menor quantidade aplicada (baixo teor de K no ES) e alta exportação através da palha e/ou grãos. Mesmo assim, o teor de K encontrado no solo foi alto (>60mg/dm<sup>3</sup>) na maioria dos sistemas de preparo do solo.

A altura e o IAF do milho foram afetados tanto pelo preparo do solo como pelas fontes de nutrientes, mas as fontes tiveram maior efeito do que o preparo do solo no período estudado (Figura 1). Os sistemas de preparo do solo podem ser divididos em dois grupos em função do efeito no crescimento do milho: um formado pelos tratamentos nos quais os resíduos foram mantidos na lavoura (PD, PE e PC), onde ocorreu maior crescimento, e outro pelos tratamentos com outras destinações dos resíduos (queimados = PCq ou retirados = PCr), com menor crescimento. Estas diferenças podem ser explicadas, por um lado, pelo suprimento de nitrogênio para o milho a partir da decomposição das plantas de cobertura de inverno (antes da adubação nitrogenada de cobertura) e, por outro lado, pelo efeito acumulado da queima ou retirada dos resíduos sobre as propriedades físicas do solo (Veiga, 2005).

O maior efeito das fontes de nutrientes sobre o crescimento do milho, comparativamente aos efeitos dos sistemas de preparo do solo, está relacionado com o efeito acumulado sobre a fertilidade do solo e o efeito imediato da aplicação de nutrientes em diferentes quantidades por ocasião da semeadura da cultura. Maior crescimento foi observado no EA e ES, que apresentaram maior altura final e maior IAF durante o período estudado. O menor crescimento do milho foi observado na testemunha, devido ao fato de não terem sido aplicados nutrientes. ▶

Tabela 2. pH, fósforo disponível e potássio trocável na camada de zero a 20cm de solo<sup>(1)</sup>, ao final do nono ano de experimentação para combinações de sistemas de preparo e de fontes de nutrientes

Preparo do solo	Fonte de nutriente					Média
	T	EA	EB	ES	AM	
<b>pH (1:1 solo:água)</b>						
PD	5,1	5,2	5,3	5,2	5,1	5,2 AB
PE	5,2	5,4	5,3	5,4	5,0	5,3 A
PC	5,1	5,4	5,2	5,0	5,0	5,1 AB
PCq	5,1	5,3	5,0	4,9	5,0	5,1 AB
PCr	5,0	5,2	5,1	4,9	4,9	5,0 B
Média	5,1 bc	5,3 a	5,2 ab	5,1 bc	5,0 c	
<b>Fósforo disponível (mg/dm<sup>3</sup>)</b>						
PD	3,5	9,5	4,0	6,9	4,7	5,7 AB
PE	3,6	9,4	3,8	7,9	5,3	6,0 AB
PC	3,4	9,5	5,0	9,8	6,2	6,8 A
PCq	4,7	7,6	4,3	7,2	5,6	5,9 AB
PCr	3,3	7,0	4,1	6,8	3,9	5,0 B
Média	3,7 c	8,6 a	4,2 bc	7,7 a	5,2 b	
<b>Potássio trocável (mg/dm<sup>3</sup>)</b>						
PD	66	115	147	57	158	109 BC
PE	82	154	194	96	228	151 A
PC	86	159	133	90	166	127 AB
PCq	108	149	146	94	178	135 AB
PCr	63	91	109	59	98	84 C
Média	81 c	134 b	146 ab	79 c	165 a	

<sup>(1)</sup>Média ponderada das camadas de zero a 5, 5 a 10 e 10 a 20cm de profundidade.

<sup>(2)</sup>Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si (Tukey, P < 0,05).

Nota: T = testemunha, sem aplicação de nutrientes;

EA = 5t/ha/ano de cama de aviário, base úmida;

EB = 60m<sup>3</sup>/ha/ano de esterco líquido de bovinos;

ES = 40m<sup>3</sup>/ha/ano de esterco líquido de suínos;

AM = adubo mineral de acordo com a recomendação para manutenção de cada cultura comercial;

PD = plantio direto;

PE = preparo com escarificador;

PC = preparo convencional;

PCq = preparo convencional com resíduos queimados;

PCr = preparo convencional com resíduos retirados.

Os resultados de produção de grãos de milho são apresentados na Tabela 3. As baixas produções de grãos obtidas na safra 2003/04 estão relacionadas à ocorrência de baixa precipitação pluviométrica no período compreendido entre o início

da floração e a maturação fisiológica da cultura. Não houve interação significativa entre os sistemas de preparo e as fontes de nutrientes, razão pela qual a comparação entre médias foi efetuada entre os sistemas de preparo, considerando-se todas

as fontes de nutrientes, e entre as fontes de nutrientes, considerando-se todos os sistemas de preparo. A produção de grãos de milho foi maior nos sistemas de preparo onde os resíduos foram mantidos na lavoura (PD, PE e PC), não havendo diferenças significativas entre eles, e a menor produção foi obtida quando os resíduos foram retirados da lavoura (PCr). A maior produção de milho observada no PD, apesar de não se diferenciar estatisticamente do PE e PC, provavelmente está relacionada à maior disponibilidade de água observada neste sistema, no período do florescimento à maturação fisiológica da cultura (Veiga, 2005). A fertilidade do solo ao final do nono ano no PD era similar ao PE e PC, exceto pela menor disponibilidade de K (Tabela 2).

O efeito da aplicação de nutrientes de diferentes fontes se refletiu na produção de grãos de milho. Os maiores valores de pH, de fósforo disponível e, especialmente, de potássio trocável encontrados no solo anteriormente ao cultivo do milho com EA parece terem sido determinantes para a maior produção de grãos neste tratamento. Isto porque as quantidades de N e K, aplicados através desta fonte por ocasião da semeadura na safra 2003/04, foram menores do que através das outras fontes. A mesma tendência foi observada entre o EB e o AM, que apresentaram produção similar mesmo com a aplicação de P e K em maior quantidade através de adubo mineral no último ano.

## Conclusões

A semi-incorporação ou a incorporação das fontes de nutrientes, nos tratamentos com preparo do solo, resulta em maiores teores de potássio trocável na camada de zero a 20cm comparativamente ao plantio direto.

A aplicação, por um longo período, de esterco de aves e de suínos em doses recomendadas para suprimento de nutrientes resulta em aumento do fósforo disponível e da produção de milho; já o esterco de aves e o esterco de bovinos são os que mais enriquecem o solo em K.

O sistema de preparo com remo-

Tabela 3. Produção de grãos de milho no décimo ano de uso para as combinações de sistemas de preparo do solo e de fontes de nutrientes<sup>(1)</sup>

Preparo do solo	Fonte de nutriente					Média
	T	EA	EB	ES	AM	
	.....kg/ha.....					
PD	1.719	5.471	4.624	4.983	4.412	4.242 A
PE	1.893	5.064	4.112	4.745	4.191	4.001 AB
PC	1.575	5.023	3.943	4.837	4.218	3.920 AB
PCq	980	4.564	3.849	4.651	3.955	3.600 BC
PCr	693	4.691	3.377	3.867	3.306	3.187 C
Média	1.372 c	4.963 a	3.981 b	4.617 a	4.016 b	

<sup>(1)</sup>Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si (Tukey, P < 0,05).

Nota: T = testemunha, sem aplicação de nutrientes;

EA = 5t/ha/ano de cama de aviário, base úmida;

EB = 60m<sup>3</sup>/ha/ano de esterco líquido de bovinos;

ES = 40m<sup>3</sup>/ha/ano de esterco líquido de suínos;

AM = adubo mineral de acordo com a recomendação para manutenção de cada cultura comercial;

PD = plantio direto;

PE = preparo com escarificador;

PC = preparo convencional;

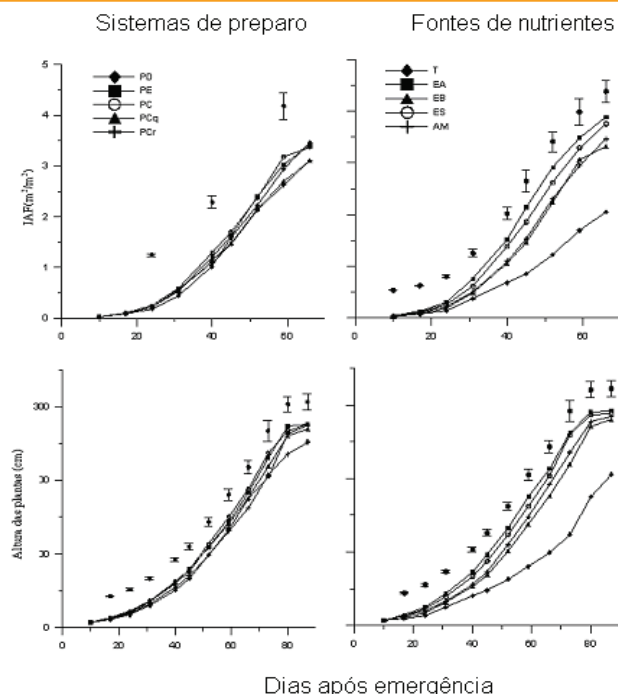
PCq = preparo convencional com resíduos queimados;

PCr = preparo convencional com resíduos retirados.

ção dos resíduos da lavoura determina, a longo prazo, redução da fertilidade do solo e da produção de grãos e compromete a capacidade produtiva do solo.

## Literatura citada

- BASSO, C.J. *Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicação no solo de dejetos líquidos de suínos*. 2003. 125f. Tese (Doutorado em Agronomia – Bionômica do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- BEUTLER, J.; BERTOL, I.; VEIGA, M.; WILDNER, L.P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho Alumino-férrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.509-517, 2003.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. *Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo*. Eschborn: GTZ/Iapar, 1991. 274p. (Sonderpublikation der GTZ, n.245).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa, 1999. 412p.
- SAS Institute. *Statistical analysis system*. Release 6.11. Cary/North Caroline: SAS institute, 1989.
- SCHERER, E.E.; BARTZ, H.R. *Adubação do feijoeiro com esterco de aves, nitrogênio, fósforo e potássio*. 2.ed. Florianópolis: Empasc, 1984. 15p. (Empasc. Boletim Técnico, 10).
- SCHERER, E.E.; CASTILHOS, E.G.D.; JUCKSCH, I.; NADAL, R.D. *Efeito da adubação com esterco de suínos, nitrogênio e fósforo em milho*. Florianópolis: Empasc, 1984. 26p. (Empasc. Boletim Técnico, 24).
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. *Análise do solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: UFRGS/Faculdade de Agronomia, 1985. (Boletim técnico de solos, 5).
- VEIGA, M. *Propriedades de um Nitossolo Vermelho após nove anos de uso de sistemas de manejo e efeito sobre culturas*. 2005. 110p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo – Processos Físicos e Morfogênicos do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- ZHANG, H.; BRANDLE, J.R. Leaf area development of corn as affected by windbreak shelter. *Crop Science*, v.37, p.1.253-1.257, 1997.



Nota: As barras verticais correspondem à diferença mínima significativa entre tratamentos em cada época de amostragem (Tukey, P < 0,05).

Figura 1. Índice de área foliar (IAF) e altura das plantas de milho no período da emergência ao florescimento, em diferentes sistemas de preparo (médias das fontes de nutrientes) e fontes de nutrientes (médias dos sistemas de preparo)