

LEGUMINOSAS E ADUBAÇÃO MINERAL COMO FONTES DE NITROGÊNIO PARA O MILHO EM SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO⁽¹⁾

T. J. C. AMADO⁽²⁾, J. MIELNICZUK⁽³⁾ & S. B. V. FERNANDES⁽⁴⁾

RESUMO

O nitrogênio é um nutriente requerido em grande quantidade pelo milho. O solo tem limitada capacidade de atender a esta demanda, sendo por isto utilizadas outras fontes de N como leguminosas e adubação mineral. A combinação destas duas fontes de N pode contribuir para a sustentabilidade do agroecossistema. Com o objetivo de avaliar a disponibilidade de N em sistemas de preparo do solo e cultura, foi realizada esta pesquisa, utilizando um experimento de longa duração na UFRGS (RS) em um Argissolo Vermelho-Escuro distrófico. Os tratamentos utilizados foram três sistemas de preparo: convencional, reduzido e direto; três sistemas de cultura: aveia/milho, aveia + ervilhaca/milho + caupi e ervilhaca/milho, e três doses de N: 0, 90 e 180 kg ha⁻¹ aplicadas em cobertura no milho. A associação do sistema plantio direto com o uso de leguminosas foi eficiente em promover o aumento do estoque de N total no solo. Embora tenha sido constatada maior velocidade de decomposição de resíduos no preparo convencional do que no plantio direto, ambos os sistemas apresentaram potencial de sincronismo da liberação de N dos resíduos com a demanda do milho. Esta cultura no sistema plantio direto apresentou menor produção de matéria seca e absorção de N do que no preparo convencional, porém não houve diferença no rendimento entre estes sistemas de preparo. A equivalência em fertilizante nitrogenado foi estimada em 55 e 38 kg ha⁻¹, respectivamente, para a ervilhaca e aveia + ervilhaca.

Termos de indexação: plantio direto, preparo convencional, plantas de cobertura, manejo do solo.

⁽¹⁾ Parte da Tese apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal do Rio Grande do Sul para a obtenção do título de Doutor em Agronomia. Recebido para publicação em junho de 1999 e aprovado em janeiro de 2000.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos - Curso de Agronomia UFSM. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). Bolsista do CNPq. E-mail: tamado@ccr.ufsm.br.

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). Bolsista do CNPq.

⁽⁴⁾ Professora do Curso de Agronomia - Departamento de Estudos Agrários, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ. Caixa Postal 560, CEP 98700-000 Ijuí (RS).

SUMMARY: LEGUMES AND MINERAL FERTILIZER AS NITROGEN SOURCES TO CORN IN TILLAGE SYSTEMS

Corn requires a high uptake of nitrogen. Because soil has a limited capacity to supply this N demand, other N sources as legumes and mineral fertilizers are used. Potentially, the association of these sources of N can contribute to agricultural sustainability. This work was carried out to evaluate the impact of tillage and cropping systems on N availability. A long-term experiment established on a Paleudult at UFRGS (RS), Brazil was used. This experiment had three tillage systems: conventional, minimum and no-tillage; three corn production systems: black oat/corn, black oat + common vetch/corn + cowpea and common vetch/corn; and three N fertilizer rates: 0, 90 and 180 kg ha⁻¹ applied in corn. The association of no-tillage with legume based crop systems was efficient in restoring the soil N stock. Although the conventional tillage induced faster N residue release than no-tillage, both tillage systems had good synchronism with corn demand. Corn N uptake and dry mass yield were greater in conventional tillage than in no-tillage. However, corn yield was similar in these tillage systems. The N fertilizer equivalence was estimated in 55 kg ha⁻¹ to vetch and 38 kg ha⁻¹ to mixture of oat + vetch.

Index terms: no-tillage, conventional tillage, cover crops, soil management.

INTRODUÇÃO

O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pelas plantas e, excetuando as leguminosas, o mais freqüentemente suprido em quantidades insatisfatórias (Reichardt et al., 1979). Embora parte do N contido na forma orgânica do solo seja mineralizada pela atividade microbiana, esta quantidade, na maioria dos solos, não é isoladamente suficiente para atender à demanda de culturas exigentes nesse nutriente. Além disto, o N orgânico do solo é lentamente liberado durante o ano, enquanto a taxa de demanda das culturas requer maior quantidade deste nutriente disponível no início da estação de crescimento (Stanford, 1973). Com isso, a utilização de outras fontes de suprimento de N, além do solo, fazem-se necessárias. Hauck (1984) projeta que, no ano 2000, mais de 80% da demanda agrícola mundial de N será atendida pelo uso de fertilizantes nitrogenados ou de leguminosas. A combinação destas duas fontes de N pode trazer várias vantagens ao manejo deste nutriente, contribuindo para a sustentabilidade do agroecossistema.

Groffman et al. (1987), comparando fontes de N, verificaram que as leguminosas disponibilizam-no de forma mais gradual do que os fertilizantes minerais. A dinâmica do N das leguminosas é complexa, pois a associação do carbono com o N nos resíduos governa o seu padrão de decomposição. Além disto, clima, preparo do solo e outras práticas de manejo têm potencialmente maior influência na disponibilidade de N em um sistema baseado em leguminosas do que em sistemas baseados em fertilizantes minerais.

Nas últimas décadas, tem crescido o interesse pela utilização de culturas de cobertura associado aos preparos conservacionistas, visando ao controle da erosão, incremento da infiltração, controle de plantas daninhas, fornecimento de N para a cultura em sucessão e aumento da produtividade do solo. Mitchell et al. (1991), revisando os resultados dos três experimentos mais antigos dos Estados Unidos, todos com mais de cem anos, concluíram que a rotação de culturas e a recuperação do teor de N do solo pela utilização de leguminosas foram as estratégias mais eficientes para atingir uma produção sustentável.

A maioria dos benefícios das leguminosas no aumento do rendimento das culturas econômicas tem sido atribuída ao incremento da disponibilidade de N (Baldock & Musgrave, 1980; Fleming et al., 1981; Ebelhar et al., 1984; Teixeira et al., 1994; Aita et al., 1994). Embora grande quantidade de N possa existir na parte aérea das culturas de cobertura, a real quantidade de N que será aproveitada pela cultura em sucessão irá depender do sincronismo entre a decomposição da fitomassa e a taxa de demanda da cultura econômica. Portanto, a estimativa da quantidade de N disponibilizada pelas leguminosas é fundamental para que a quantidade de N a ser complementada via fertilizante mineral seja determinada, seguindo critérios de produtividade, retorno econômico e preservação ambiental. Sob o prisma da agricultura sustentável, o desafio no manejo do N consiste em aumentar a quantidade de N absorvido pelas culturas e diminuir, ao mesmo tempo, a quantidade de N perdido do sistema solo-planta.

Esta pesquisa objetivou avaliar a disponibilidade de N em sistemas de preparo e cultura, adotados por longo prazo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado, durante nove anos, na Estação Experimental Agronômica da UFRGS, no município de Eldorado do Sul (RS). O clima desta região, segundo classificação de Köppen, é o subtropical de verão úmido quente do tipo fundamental Cfa. A precipitação pluvial média anual é de 1.440 mm, com média mensal de 120 mm (Bergamaschi & Guadagnin, 1990).

O solo é um Argissolo Vermelho-Escuro distrófico, de textura franco-argilosa derivado de granito, com declividade de 5%. Antes da instalação do experimento, a área foi utilizada, durante dez anos, com as culturas do girassol e colza, em manejo do solo envolvendo intenso revolvimento. Em consequência deste manejo, foi possível diagnosticar a ocorrência de degradação do solo. Em 1985, foram iniciadas as atividades com vistas em instalar o experimento. A análise química do solo indicou reação ácida (pH = 5,3) e baixo teor de matéria orgânica (MO = 22 g kg⁻¹) e médios de P (9,3 mg dm⁻³, pelo Mehlich-1) e K (0,20 cmol_c dm⁻³). A uniformização da área consistiu da aplicação de corretivos e fertilizantes incorporados ao solo com lavração, gradagem e semeadura da aveia-preta (*Avena strigosa*). Os tratamentos abrangeram: três métodos de preparo: convencional, reduzido e plantio direto; três sistemas de cultura: aveia/milho (*Zea mays*), aveia + trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum*)/milho e aveia + trevo/milho + caupi (*Vigna unguiculata*), e duas doses de N: 0 e 120 kg ha⁻¹ aplicados no milho. O delineamento experimental foi o de blocos casua-lizados, com parcelas subdivididas, sendo os métodos de preparo do solo as parcelas principais; os sistemas de cultura, as subparcelas, e as doses de N aplicadas em faixas nos subblocos. As parcelas principais mediram 15 x 20 m, com área total de 300 m², as subparcelas mediram 5 x 20 m, com área total de 100 m², e os subblocos apresentaram dimensões de 45 x 10 m, com área total de 450 m². A partir de 1991, o trevo subterrâneo foi substituído pela ervilhaca comum (*Vicia sativa*).

No ano de 1995, visando atingir os objetivos propostos neste trabalho, foram introduzidas as seguintes modificações no experimento: o tratamento ervilhaca/milho (E/M) foi utilizado em substituição ao sistema de aveia + ervilhaca/milho. Também foram introduzidas modificações nas doses de N aplicadas no milho. As subparcelas constituídas pelos sistemas de cultura foram divididas em três subsubparcelas, nas quais foram aplicadas doses de N (0, 90 e 180 kg ha⁻¹) na cultura do milho. A aplicação de N, em cobertura, foi parcelada em três vezes na linha da cultura do milho. Os sistemas de preparo permaneceram inalterados.

A semeadura das espécies de cobertura do solo ocorreu no início do mês de abril de 1995. As quantidades de semente utilizadas foram aveia

70 kg ha⁻¹, ervilhaca 60 kg ha⁻¹ e aveia + ervilhaca 70 kg ha⁻¹, sendo a consorciação composta por 42 e 28 kg ha⁻¹ de aveia e ervilhaca, respectivamente. No sistema plantio direto, foi aplicado herbicida à base de glifosate na dose de 800 g ha⁻¹ de princípio ativo. Três dias após a aplicação do herbicida, foi utilizado o rolo-faca para acamar as culturas de cobertura. No sistema de preparo convencional, foi efetuada a incorporação dos resíduos com uma lavração seguida de uma gradagem, enquanto, no sistema de preparo reduzido, foi utilizado o escarificador, seguido de uma gradagem superficial.

Após 20 dias do manejo das culturas de cobertura, foi semeado o milho com máquina de plantio direto, ajustada para distância de 0,80 m entre linhas. A variedade utilizada foi Pioneer 3069 e a população ajustada, após desbaste manual, para 55.000 plantas ha⁻¹. A adubação na base do milho foi de 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 15 kg ha⁻¹ de K₂O. Após uma semana do início da emergência, foi iniciada a aplicação da adubação nitrogenada. O parcelamento da adubação foi o seguinte: aos sete dias da emergência (DAE) do milho, foram aplicados 20 e 40 kg ha⁻¹; aos 26 DAE, 40 e 80 kg ha⁻¹, e aos 45 DAE, 30 e 60 kg ha⁻¹, respectivamente, para as doses totais de 90 e 180 kg ha⁻¹ de N.

O caupi foi semeado na entrelinha do milho aos 40 DAE, por meio de semeadora manual, em covas distanciadas de 40-50 cm, com três a quatro sementes por cova.

Os dados meteorológicos foram registrados diariamente, durante o período experimental, pela estação automatizada da UFRGS, distante aproximadamente 5 km da área experimental. Neste período, a precipitação pluvial média mensal foi próxima aos valores climáticos (registros de longo prazo) para o município de Eldorado do Sul, excetuando-se os meses de abril/95 (implantação das culturas de cobertura), outubro/95 (implantação do milho) e fevereiro/96 (colheita do milho), que tiveram valores inferiores (Amado, 1997). Especificamente quanto ao ciclo do milho, embora o volume total precipitado tenha sido próximo aos valores climáticos, a distribuição da precipitação foi irregular. Visando atenuar o efeito do déficit hídrico, durante o ciclo do milho, foram aplicadas irrigações suplementares, determinadas pelo uso de tensiômetros.

No ano de 1994, precedendo o plantio do milho, foram amostradas, no preparo convencional e no direto e nos sistemas de cultura A/M e A + E/M + C, na subparcela sem adição de N mineral, seis camadas do solo: 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-7,5; 7,5-12,5; 12,5-17,5; 17,5-30,0 cm. No preparo reduzido, as amostragens foram restritas às camadas: 0-2,5; 2,5-7,5; 7,5-15,0 cm. Na amostragem de solo da camada superficial (0-2,5 cm), foram eliminados os resíduos vegetais por meio de catação manual. As análises de N total do solo seguiram método descrito por Tedesco et al. (1995).

Os resultados foram expressos em relação peso/volume, objetivando eliminar o efeito de diferentes densidades do solo existentes entre os métodos de preparo.

A produção de matéria seca (MS) e a quantidade de N na fitomassa de culturas de cobertura foram avaliadas mediante a amostragem de 0,5 m²/subsubparcela. A amostra foi composta pela parte aérea das culturas de cobertura. Posteriormente, as amostras foram pesadas e colocadas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 60°C até obter-se peso constante.

A velocidade de decomposição da fitomassa foi determinada por meio de sacos de decomposição de nylon com dimensões internas de 20,0 x 10,0 cm. Estes sacos foram preenchidos com 12 g (base seca a 60°C) de resíduos de culturas de cobertura, correspondendo a 6 t ha⁻¹ de MS. Imediatamente após o manejo das culturas, os sacos de decomposição foram colocados nas parcelas, visando similaridade às condições climáticas que afetaram a decomposição dos resíduos nas parcelas. Esta avaliação não foi feita no sistema de preparo reduzido. Os sacos de decomposição foram colocados a 10 cm de profundidade no preparo convencional e na superfície do solo no sistema plantio direto. As datas de coleta dos sacos de decomposição foram 15, 33, 60, 90 e 120 dias após o manejo da cultura de cobertura.

A produção de MS e a quantidade de N na fitomassa do milho foram avaliadas em duas épocas durante o ciclo da cultura: 30 e 95 DAE. Na primeira época, os sistemas de preparo avaliados foram o preparo convencional e o plantio direto. Na avaliação realizada aos 95 DAE, também foi amostrado o preparo reduzido.

O rendimento de grãos foi avaliado mediante a colheita manual em área central de 6,3 m². As espigas foram debulhadas mecanicamente e os grãos foram então pesados e subamostrados para determinação da umidade. Os resultados foram corrigidos para 13% de umidade.

A produção de MS e a quantidade de N na fitomassa das culturas de cobertura foram analisadas conforme delineamento em blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo os preparos do solo as parcelas principais e os sistemas de cultura as subparcelas, uma vez que, não houve efeito das doses de N aplicadas no milho. Os dados referentes ao N total no solo foram analisados seguindo o mesmo delineamento, sendo as profundidades as subsubparcelas. Os dados referentes às avaliações aos 30 e 95 DAE do milho foram analisados dentro de cada época, sendo as doses de N aplicadas às subsubparcelas. Este mesmo delineamento foi utilizado para o rendimento de grãos de milho. Para comparar as médias, utilizou-se o teste de Duncan a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quantidade de N adicionado e, ou, reciclado no solo por culturas de cobertura durante nove anos

A estimativa das quantidades totais de N adicionado e, ou, reciclado, durante o período de 1985 a 1994, foram de 270, 751 e 1.112 kg ha⁻¹ de N, respectivamente para os sistemas: aveia/milho, aveia + ervilhaca(trevo)/milho e aveia + ervilhaca(trevo)/milho + caupi, independentemente do sistema de preparo. Os resultados restringem-se à contribuição da parte aérea das culturas de cobertura, não sendo computado o N das raízes e o reciclado pelo milho. O aporte de N ao solo pela fitomassa da aveia deve-se basicamente à reciclagem e reflete o baixo potencial de suprimento de N deste solo, estimado na média do período experimental em aproximadamente 30 kg ha⁻¹, durante a estação de crescimento desta cultura. Por outro lado, nos sistemas com utilização de leguminosas, além do efeito de reciclagem, ocorreu o aporte do N oriundo da fixação simbiótica do N₂ atmosférico pelas leguminosas (ervilhaca, trevo e caupi). Este último aporte foi a principal fonte de adição de N ao solo.

Efeito dos sistemas de preparo e de cultura no acúmulo de N total no solo

As quantidades de N adicionado e, ou, reciclado pelos sistemas de cultura refletiram-se na quantidade de N total acumulado no solo (Figura 1). Na sucessão de cultura A/M, sem adubação nitrogenada, os sistemas de preparo tiveram pequeno efeito na acumulação de N total (Figura 1a). A diferença de apenas 35,7 kg ha⁻¹ na quantidade de N total acumulado na camada de 0-30 cm entre o plantio direto e o preparo convencional ilustra este fato (Amado, 1997).

Por outro lado, nos sistemas de cultura com características de elevado aporte de N, como os que incluíam leguminosas, foi possível constatar que a redução na intensidade do preparo se refletiu no maior acúmulo de N total no solo (Figura 1b). Desta maneira, no sistema A + E(T)/M + C, foi constatado no plantio direto um acréscimo de 404 kg ha⁻¹ de N em relação ao convencional (Amado, 1997). Considerando que a adição de N foi semelhante entre os sistemas de preparo ao longo dos nove anos do experimento, verifica-se uma diferença no estoque de N total do solo de 1,50 kg cm⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹ em favor do plantio direto. Estes valores, obtidos em condições de clima subtropical, aproximam-se dos da faixa de acúmulo de 1,4 a 2,4 kg cm⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹; registrados por Gilliam & Hoyt (1987), para a mesma camada de solo, em condições de clima temperado dos Estados Unidos e Europa, quando da passagem do preparo convencional para o plantio direto. Por outro lado, o sistema de preparo reduzido apresentou acumulação de N total na camada mais superficial do solo,

intermediária entre a verificada no sistema de intenso revolvimento (preparo convencional) e a do sistema com ausência de revolvimento (plantio direto).

O efeito de recuperação do teor de N total nos preparos com mínima mobilização do solo somente ocorreu nos sistemas de cultura que incluíam leguminosas, sendo mais acentuado nas camadas mais superficiais do solo. Assim, por exemplo, sob preparo convencional, a diferença na acumulação de N, na camada de 0-30 cm, entre A/M (Figura 1a) e A + E(T)/M + C (Figura 1b) foi de 487 kg ha⁻¹, enquanto sob plantio direto esta diferença foi de 855 kg ha⁻¹ (Amado, 1997). Os maiores conteúdos de N total no solo sob plantio direto são resultado da menor taxa de decomposição da M.O. neste sistema. Além deste efeito, a localização superficial dos resíduos culturais reduz o contato solo-resíduo, retardando a decomposição. Outros efeitos, tais como: não-fracionamento mecânico dos resíduos, menor temperatura, maior umidade, menor aeração do solo e preservação dos agregados superficiais, contribuem para menor taxa de mineralização do N orgânico.

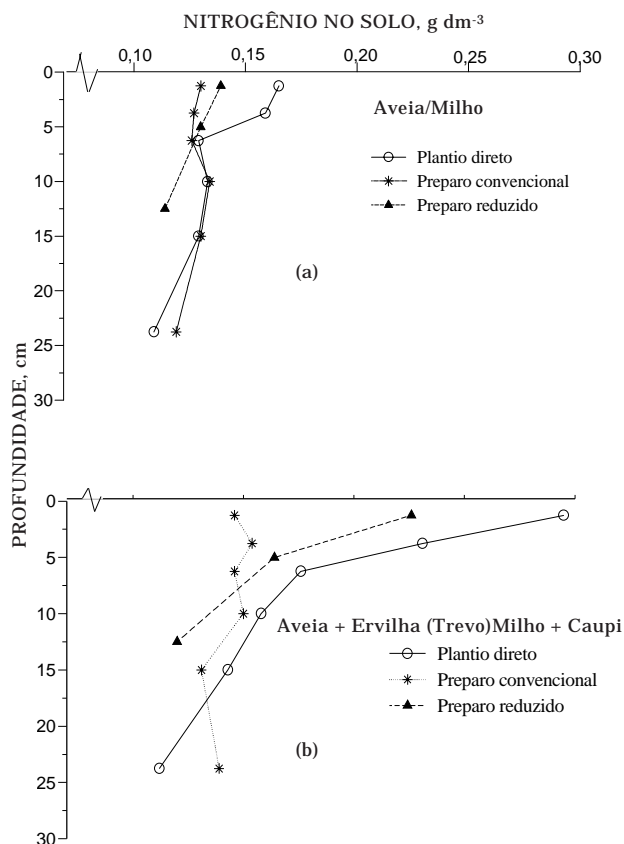


Figura 1. Nitrogênio total no solo em três sistemas de preparo aveia/milho (a) e aveia + ervilhaca/milho + caupi (b) utilizados durante nove anos em parcelas sem adubação nitrogenada mineral (1986-1994).

Características fenológicas das culturas de cobertura

A produção de MS e a quantidade de N na biomassa das culturas de cobertura, no ano de 1995, encontram-se no quadro 1. Observa-se que não houve efeito estatístico do sistema de preparo do solo adotado sobre estas duas características fenológicas. A aveia, quando em cultivo isolado, apresentou elevada produção de MS, porém a quantidade de N na fitomassa foi inferior a 50% daquela verificada na ervilhaca e na consorciação. A relação C/N da aveia foi superior a 45, valor este que indica potencial para imobilização de N durante o processo de decomposição de resíduos. Por outro lado, a ervilhaca apresentou a menor produção de MS, exceção do preparo convencional, e a maior quantidade de N na fitomassa entre as espécies avaliadas. Com isto, a relação de C/N desta leguminosa foi calculada em valores inferiores a 15, sugerindo potencial para rápida mineralização do N dos resíduos. A consorciação de aveia + ervilhaca apresentou características fenológicas interessantes, produzindo quantidade de MS tão elevada quanto a obtida com o cultivo da aveia isolada e uma acumulação de N na fitomassa semelhante à da ervilhaca isolada. No entanto, a relação C/N da consorciação aproximou-se de 25, valor considerado como de equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização.

Velocidade de decomposição e liberação do N dos resíduos das culturas de cobertura em preparo convencional e plantio direto

A velocidade de liberação do N existente nos resíduos das culturas de cobertura foi avaliada mediante o uso de sacos de decomposição (Figura 2). Observou-se que a velocidade de liberação do N dos resíduos, em ambos os sistemas de preparo, foi inversamente proporcional à relação C/N (Quadro 1), concordando com os resultados obtidos por Wagger (1989).

Os padrões da decomposição dos resíduos e da liberação do N seguiram os descritos por Wieder & Lang (1982) e Somda et al. (1991), segundo o qual este processo pode ser distinguido em duas fases: a primeira refletiria uma rápida decomposição de materiais como carboidratos simples, amidos, açúcares e proteínas, enquanto a segunda fase representaria uma decomposição de material mais resistente, tais como; celulose, gorduras, ceras, taninos e lignina, sendo, por isto, mais lenta. Assim, no preparo convencional, os resíduos de ervilhaca apresentaram nos primeiros 30 dias uma taxa de liberação de 4,60 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de N, ao passo que, dos 60 aos 90 dias, esta taxa foi de 0,67 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de N, (Amado, 1997).

Com base em equações de ajuste das curvas de liberação de N determinadas com os sacos de decomposição (Figura 2) e utilizando a quantidade de N existente na biomassa de cada cultura de

Quadro 1. Matéria seca e nitrogênio acumulados na fitomassa do milho e relação C/N das culturas de cobertura de inverno (aveia, aveia + ervilhaca e ervilhaca) do ano de 1995, considerando três métodos de preparo e três sistemas de cultura

Preparo do solo	Sistema de cultura	Matéria seca	Nitrogênio	Relação C/N
		t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	
PC	A/M	4,29	34,9	49,2
	E/M	4,44	129,1	13,8
	A + E/M + C	6,53	119,4	22,5
PR	A/M	5,74	46,4	49,5
	E/M	3,76	106,5	14,1
	A + E/M + C	5,76	94,1	24,5
PD	A/M	5,35	45,8	46,8
	E/M	3,42	94,3	14,7
	A + E/M + C	6,31	106,5	23,7
C.V. (%)		19,7	16,5	
DMS (Duncan 5%)				
Cultura		1,19 ⁽¹⁾	21,6 ⁽¹⁾	
		1,14 ⁽²⁾	20,7 ⁽²⁾	

⁽¹⁾ Compara três sistemas de cultura na média de sistemas de preparo do solo. ⁽²⁾ Compara dois sistemas de cultura na média de sistemas de preparo do solo. PC = Preparo convencional, PR = Preparo reduzido e PD = Plantio direto, A = Aveia, E = Ervilhaca, C = Caupi e M = Milho. Relação C/N calculada considerando que 40% da matéria seca é carbono.

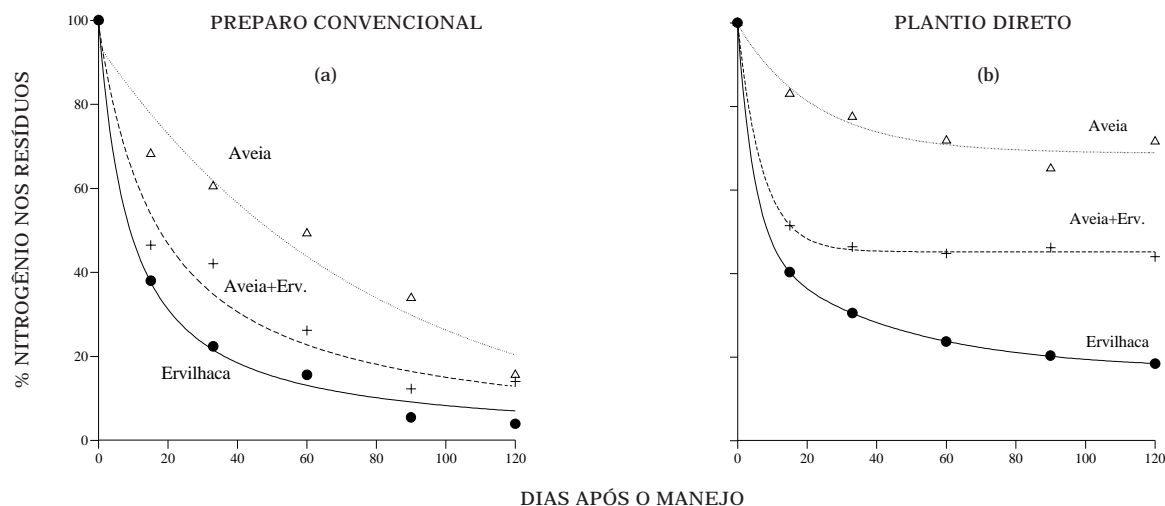


Figura 2. Velocidade de decomposição de resíduos culturais sob preparo convencional (a) e plantio direto (b) avaliada pela utilização de sacos de decomposição.

cobertura (Quadro 1) foi estimada, para cada sistema de preparo, a quantidade de N mineralizado dos resíduos. As taxas médias de liberação de N nas primeiras quatro semanas foram estimadas em 3,04 e 2,45 kg ha⁻¹ dia⁻¹, para ervilhaca e aveia + ervilhaca, respectivamente, em preparo convencional, enquanto sob o plantio direto, para os mesmos sistemas de cultura, estas taxas foram de 1,98 e 1,62 kg ha⁻¹ dia⁻¹

(Amado, 1997). A maior velocidade de liberação do N dos resíduos sob preparo convencional, quando comparada à do plantio direto, pode ser atribuída ao efeito dos sistemas de preparo na incorporação e fracionamento físico dos resíduos, que permite maior contato solo-resíduos, e ao incremento da aeração, fatores estes que, combinados, favorecem maior atividade biológica.

Apesar da maior velocidade de decomposição dos resíduos sob preparo convencional, ambos os sistemas de preparo apresentaram potencial de sincronismo de liberação do N dos resíduos com a demanda do milho. Assim nas primeiras quatro semanas após o manejo, a liberação do N da fitomassa da ervilhaca foi estimada em 76,7 e 69,5%, para o preparo convencional (Figura 2a) e plantio direto (Figura 2b), respectivamente. Tais resultados concordam com os obtidos anteriormente por Da Rós (1993) e Pavinato (1993).

Efeito da adubação nitrogenada mineral na produção de matéria seca e N absorvido pelo milho aos 30 DAE

Nesta avaliação, as doses de N mineral utilizadas foram de: 0, 20 e 40 kg ha⁻¹ de N aplicadas imediatamente após a semeadura do milho. No quadro 2, pode-se constatar que a produção de MS e o N acumulado pelo milho aos 30 DAE foram influenciados pela adubação nitrogenada aplicada. Não houve efeito estatístico do sistema de preparo nestes parâmetros avaliados. Na ausência de aplicação de N fertilizante, o sistema A/M, na média dos sistema de preparo, apresentou menor MS e quantidade de N absorvido, quando comparado à ervilhaca e à consorciação. Estes dois últimos tratamentos não diferiram entre si.

A aplicação de 40 kg ha⁻¹ imediatamente após a semeadura do milho em sucessão à aveia, na média dos sistemas de preparo, aumentou em 250% a quantidade de N absorvido e em 166% a produção de MS do milho, evidenciando a importância da fertilização nitrogenada na base neste sistema. Com as aplicações de 20 e 40 kg ha⁻¹ de N na base, não houve diferença estatística entre os sistemas de cultura na produção de MS e no N absorvido pelo milho. No sistema A/M, houve resposta do N absorvido à aplicação de até 40 kg ha⁻¹ de N na base, enquanto para os sistemas ervilhaca e aveia + ervilhaca somente houve resposta até à dose de 20 kg ha⁻¹. Este resultado está de acordo com a recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo - RS/SC (1994) que indica a necessidade da aplicação de 20 a 30 kg N ha⁻¹ na semeadura do milho em sucessão à aveia. É provável que a resposta à maior dose de N aplicada no milho (40 kg ha⁻¹) em sucessão à aveia, encontrada neste experimento, esteja relacionada com a elevada relação C/N dos resíduos desta cultura (Quadro 1) e com o conseqüente potencial de imobilização do N.

Efeito da adubação nitrogenada mineral na produção de matéria seca e N absorvido pelo milho aos 95 DAE

Nesta avaliação, as quantidades de N mineral utilizadas foram: 0, 90 e 180 kg ha⁻¹, aplicadas

Quadro 2. Matéria seca (MS) e nitrogênio (N) acumulados na fitomassa do milho, avaliado 30 dias após a emergência, no ano de 1996, considerando dois métodos de preparo, três sistemas de cultura e três doses de nitrogênio

Preparo do solo	Sistema de cultura	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)					
		0		20		40	
		MS	N	MS	N	MS	N
		t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
PC	A/M	0,067	2,2	0,143	5,3	0,152	6,4
	E/M	0,100	4,4	0,123	5,2	0,153	6,9
	A + E/M + C	0,097	4,1	0,145	6,1	0,144	6,3
PD	A/M	0,051	1,6	0,079	3,2	0,161	7,1
	E/M	0,109	3,7	0,102	5,2	0,137	6,0
	A + E/M + C	0,074	2,8	0,115	4,9	0,116	5,3
C.V. (%)		21,77	23,79				
DMS (Duncan 5%)							
Cultura x Dose N		33 ⁽¹⁾	1,7 ⁽¹⁾	32 ⁽²⁾	1,6 ⁽²⁾		
Dose N x Cultura		31 ⁽¹⁾	1,4 ⁽²⁾	30 ⁽²⁾	1,4 ⁽²⁾		

Significância dos fatores na análise estatística Duncan (P > 0,05). Interação cultura*dose de N.

⁽¹⁾ Compara três médias. ⁽²⁾ Compara duas médias.

PC = Preparo convencional e PD = Plantio Direto; A = Aveia, E = Ervilhaca, C = Caupi e M = Milho.

imediatamente após a semeadura e em cobertura aos 26 e 49 DAE do milho. Na amostragem realizada aos 95 DAE (Quadro 3), foi verificado efeito de menor absorção de N sob plantio direto em relação ao obtido sob convencional. Assim, no plantio direto, a absorção de N pelo milho foi reduzida em 15,8% e a produção de MS em 11,1% em relação àquela verificada no preparo convencional, na média de três sistemas de cultura e três doses de N mineral. Resultados semelhantes foram encontrados por Shear & Moschler (1969), Triplett Jr. & Van Dieren Jr. (1969), Rosso (1989) e Bayer (1992). A menor disponibilidade de N no sistema plantio direto tem sido registrada na fase de implantação do sistema e em condições de baixas doses de adubação nitrogenada. As causas mais citadas para este fato são: maiores perdas por lixiviação, maiores perdas por desnitrificação, maior imobilização pelos microrganismos, menor

mineralização do N orgânico do solo e dos resíduos culturais ou, ainda, uma associação destes fatores (Amado, 1997). O preparo convencional não diferiu estatisticamente do preparo reduzido.

A produção de MS do milho foi influenciada pela interação dose de N aplicado x sistema de cultura. Na ausência da adubação nitrogenada, o milho em sucessão à aveia apresentou a menor produção de MS, porém com a utilização de doses de N (90 e 180 kg ha⁻¹) esta tendência desapareceu, sendo a produção de MS semelhante entre os sistemas de cultura.

Houve resposta do N absorvido às doses de N aplicado, nos três sistemas de cultura avaliados. Assim, mesmo o sistema E/M, que apresentava maior disponibilidade de N pela inclusão da leguminosa, ainda revelou resposta à dose mais elevada de N aplicado (Quadro 3).

Quadro 3. Matéria seca (MS) e nitrogênio (N) acumulados na biomassa do milho, avaliado 95 dias após a emergência, no ano de 1996, considerando três métodos de preparo, três sistemas de cultura e três doses de nitrogênio

Preparo do solo	Sistema de cultura	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)					
		0		90		180	
		MS	N	MS	N	MS	N
		t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
PC	A/M	6,356	33,9	12,583	102,7	13,004	117,8
	E/M	10,809	77,6	11,861	112,8	13,185	157,5
	A + E/M + C	10,029	67,4	13,220	121,9	14,074	136,6
PR	A/M	7,459	41,2	11,700	75,4	13,302	132,3
	E/M	10,081	67,4	11,725	122,6	13,728	164,5
	A + E/M + C	9,893	57,2	12,488	116,1	12,801	157,0
PD	A/M	4,764	21,9	10,601	63,7	11,769	108,8
	E/M	10,477	77,1	11,408	88,3	12,812	155,3
	A + E/M + C	7,401	42,8	11,424	96,6	12,813	127,1
C.V. (%)		11,51	17,54				
DMS (Duncan 5%)							
Preparo		0,485 ⁽¹⁾	12,0 ⁽¹⁾				
		0,475 ⁽²⁾	11,8 ⁽²⁾				
Cultura x Dose N		1,307 ⁽¹⁾	-				
		1,242 ⁽²⁾	-				
Dose N x Cultura		4,090 ⁽¹⁾	-				
		3,890 ⁽²⁾	-				
Cultura		-	12,2 ⁽¹⁾				
		-	11,7 ⁽²⁾				
Dose		-	9,5 ⁽¹⁾				
		-	10,0 ⁽²⁾				

Significância dos fatores na análise estatística Duncan (P > 0,05): Preparo. Interação cultura*dose de N. Cultura. Dose de N.

⁽¹⁾ Compara três médias. ⁽²⁾ Compara duas médias.

PC = Preparo Convencional, PR = Preparo Reduzido e PD = Plantio Direto. A = Aveia, E = Ervilhaca, C = Caupi e M = Milho.

No sistema de cultura A/M, na média de três doses de N, houve menor absorção de N, sendo 32% inferior àquela verificada no sistema E/M. Este último sistema não diferiu estatisticamente da consorciação. No sistema com inclusão de leguminosas, é provável que a combinação do N fornecido pela leguminosa com o da adubação nitrogenada explique esta maior absorção de N pelo milho, quando comparado a sistemas que somente incluíam gramíneas.

Efeito da adubação nitrogenada mineral no rendimento do milho

Verificou-se a influência do sistema de preparo e da interação do sistema de cultura e as doses de N mineral aplicadas sobre o rendimento do milho (Quadro 4). O efeito do sistema de preparo indicou que o rendimento no sistema plantio direto, na média de três doses de N e três sistemas de cultura, não diferiu do convencional, porém foi aproximadamente 4,8% inferior ao rendimento obtido com escarificador (Figura 3).

O milho sob sistema de preparo reduzido somente foi avaliado aos 95 DAE; porém, nesta avaliação, este sistema apresentava maior acúmulo de N e maior produção de MS (Quadro 3), sendo o rendimento obtido compatível com essas características fenológicas. O sistema plantio direto apresentou menor produção de MS e quantidade de N absorvido pelo milho, quando na ausência da adubação ou em baixas dosagens, comparativamente ao preparo convencional (Quadro 3). No entanto, o rendimento do milho não diferiu entre estes dois sistemas de preparo (Quadro 4). Resultados semelhantes foram obtidos por Rosso (1989), Varco et al. (1989), Salton (1991) e Bayer (1992), evidenciando maior eficiência de uso do N absorvido no sistema plantio direto.

O efeito de doses de N sobre o rendimento do milho em sistemas de cultura é apresentado na figura 4. No sistema A/M, houve resposta significativa às duas doses de N aplicado, o mesmo ocorrendo com a consorciação A + E/M. No sistema E/M, somente houve resposta significativa até à dose

Quadro 4. Rendimento de grãos do milho ajustado para 13% de umidade, no ano de 1996, considerando três métodos de preparo, três sistemas de cultura e três doses de nitrogênio

Preparo do solo	Sistema de cultura	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)		
		0	90	180
		t ha ⁻¹		
PC	A/M	2,87	6,25	7,79
	E/M	5,37	7,73	8,23
	A + E/M + C	4,38	8,04	7,97
PR	A/M	3,55	6,86	7,93
	E/M	5,45	8,40	7,93
	A + E/M + C	5,26	7,70	8,37
PD	A/M	2,24	5,96	7,79
	E/M	4,98	7,24	8,07
	A + E/M + C	4,07	7,22	8,67
C.V. (%)		9,30		
DMS (Duncan 5%)				
Preparo		0,351 ⁽¹⁾		0,343 ⁽²⁾
Cultura x Dose		0,611 ⁽¹⁾		0,581 ⁽²⁾
Dose x Cultura		0,611 ⁽¹⁾		0,581 ⁽²⁾

Significância dos fatores na análise estatística Duncan (P > 0,05): Preparo. Interação cultura*dose.

⁽¹⁾ Compara três médias. ⁽²⁾ Compara duas médias.

PC = Preparo convencional, PR = Preparo reduzido e PD = Plantio direto; A = Aveia, E = Ervilhaca e C = Caupi.

90 kg ha⁻¹. O efeito de sistemas de cultura no rendimento do milho foi anulado pela utilização da dose mais elevada de N mineral (180 kg ha⁻¹). No entanto, na dose de 90 kg ha⁻¹, os sistemas A + E/M

e E/M foram superiores ao sistema A/M. Na ausência da adubação nitrogenada, o maior rendimento foi obtido com a ervilhaca, seguido da consorciação aveia+ervilhaca, enquanto o tratamento A/M apresentou o menor rendimento.

A equivalência em fertilizante nitrogenado estimada para a ervilhaca, com base na curva de resposta de rendimento do milho em sucessão à aveia a doses de N, foi avaliada em 55 kg ha⁻¹. Este valor aproxima-se da faixa de 45 a 90 kg ha⁻¹ encontrada anteriormente por Pons et al. (1984), no Rio Grande do Sul. Para a consorciação aveia + ervilhaca, a equivalência em fertilizante nitrogenado foi estimada em 38 kg ha⁻¹ (Figura 4).

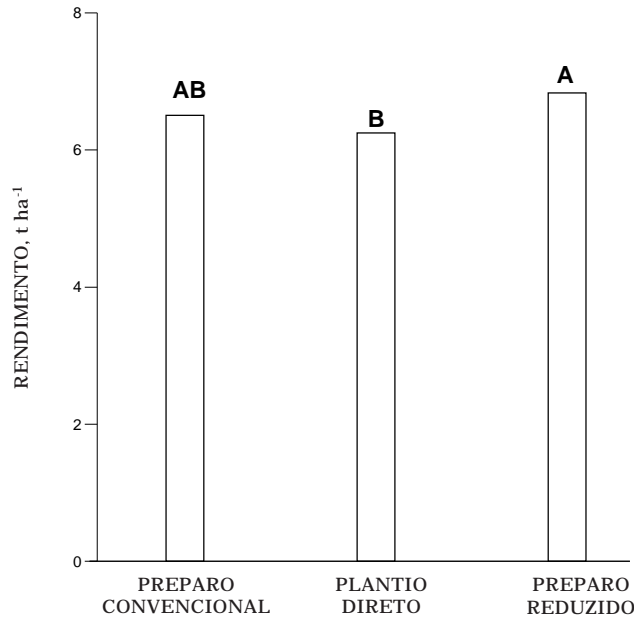


Figura 3. Rendimento do milho sob preparo convencional, plantio direto e preparo reduzido, na média de três sistemas de cultura e três doses de N, no ano de 1995/96. Colunas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Duncan ($P > 0,05$).

CONCLUSÕES

1. A associação do sistema plantio direto com o uso de leguminosas como cultura de cobertura promoveu aumento das reservas de N total do solo.

2. Aproximadamente, 70% da liberação do N da fitomassa da ervilhaca ocorreu nas primeiras quatro semanas após o manejo, nos sistemas de preparo convencional e direto.

3. O sistema plantio direto apresentou menor quantidade de N absorvido e produção de matéria seca do milho em relação ao preparo convencional, na média de três doses de N e três sistemas de cultura, porém não houve diferença estatística no rendimento entre estes dois tratamentos.

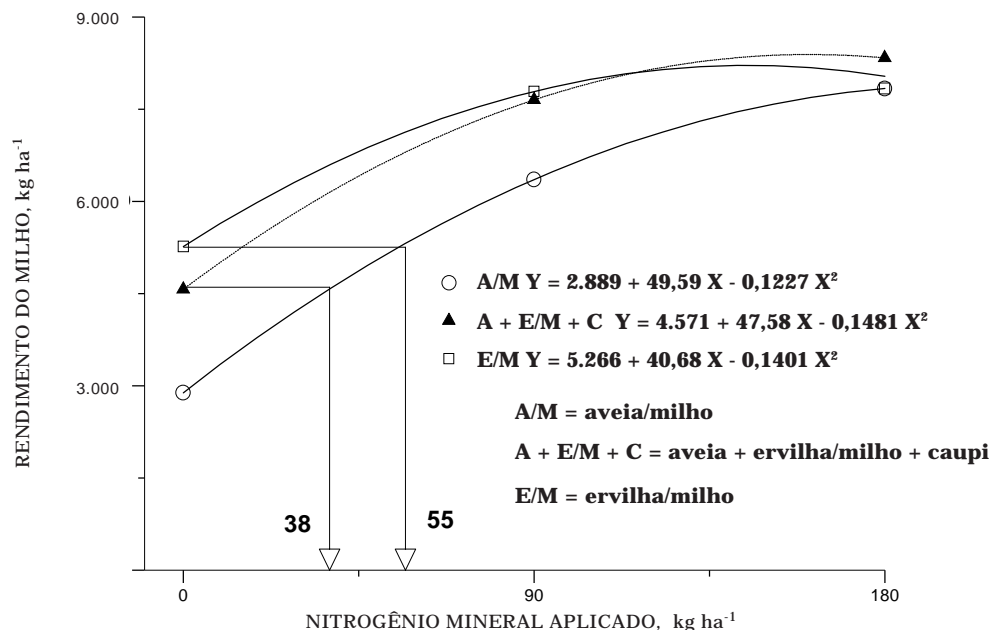


Figura 4. Curva de resposta à adubação nitrogenada de três sistemas de culturas, na média de três sistemas de preparo.

4. O preparo reduzido, na média de três doses de N e três sistemas de cultura, apresentou rendimento superior ao do plantio direto.

LITERATURA CITADA

- AITA, C.; CERETTA, C.A.; THOMAS, A.L.; PAVINATO, A. & BAYER, C. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:101-108, 1994.
- AMADO, T.J.C. Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 201 p. (Tese de Doutorado)
- BALDOCK, J.O. & MUSGRAVE, R.B. Manure and mineral fertilizer effects in continuous and rotational crop sequences in central New York. *Agron. J.*, 72:511-518, 1980.
- BAYER, C. Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. 183 p. (Tese de Mestrado)
- BERGAMASCHI, H. & GUADAGNIN, M.R. Agroclima da Estação Experimental Agronômica. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990. 96p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – CFSRS/SC. Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Passo Fundo, SBCS-Núcleo Regional Sul, 1994. 224p.
- DA RÓS, C.O. Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1993. 85p. (Tese de Mestrado)
- EBELHAR, S.A.; FRYE, W.W. & BLEVINS, R.L. Nitrogen from legume cover crops for no-tillage corn. *Agron. J.*, 76:51-55, 1984.
- FLEMING, A.A.; GIDDENS, J.E. & BEATY, E.R. Corn yields as related to legumes and inorganic nitrogen. *Crop Sci.*, 21:977-980, 1981.
- GILLIAM, J.W. & HOYT, G.D. Effect of conservation tillage on fate and transport of nitrogen. In: LOGAN, T.J., ed. Effects of conservation tillage on groundwater quality: nitrates and pesticides. Chelsea, Lewis, 1987. p.217-240.
- GROFFMANN, P.M.; HENDRIX, P.F. & CROSSLEY Jr., D.A. Nitrogen dynamics in conventional and no-tillage agroecosystems with inorganic fertilizer or legume nitrogen inputs. *Plant Soil*, 97:315-332, 1987.
- HAUCK, R.D. Epilogue. In: HAUCK, R.D., ed. Nitrogen in crop production. Madison, Soil Science Society of America, 1984. p.782-787.
- MITCHELL, C.C.; WESTERMAN, R.L.; BROWN, J.R. & PECK, T.R. Overview of long-term agronomic research. *Agron. J.*, 83:24-29, 1991.
- PAVINATO, A. Teores de carbono e nitrogênio do solo e produtividade de milho afetados por sistemas de culturas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993. 122 p. (Tese de Mestrado)
- PONS, A.L.; NUSS, C.N. & PINTO, R.J.B. Efeito de doses de nitrogênio sobre o rendimento do milho, em cultivo mínimo e convencional após o cultivo da vicia. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 29., Porto Alegre, 1984. Ata. Porto Alegre, IPAGRO/EMATER-RS, 1984. p.97-98.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; VICTORIA, R.L. & VIEGAS, G.P. Dinâmica do nitrogênio num solo cultivado com milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 3:17-20, 1979.
- ROSSO, A. Manejo de culturas de cobertura do solo no inverno e sua relação com a produtividade do milho. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989. 117p. (Tese de Mestrado)
- SALTON, J.C. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade do solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991. 91p. (Tese de Mestrado)
- SHEAR, G.M. & MOSCHLER, W.W. Continuous corn by the no-tillage and conventional tillage methods: a six-year comparison. *Agron. J.*, 61:67-72, 1969.
- SOMDA, Z.C.; FORD, P.B. & HARGROVE, W.L. Decomposition and nitrogen recycling of cover crops and crop residues. In: COVER CROPS FOR CLEAN WATER, Ankeny, 1991. Proceedings. Ankeny, Soil Conservation Society of America, 1991. p.103-105.
- STANFORD, G. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. *J. Environ. Qual.*, 2:159-166, 1973.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- TEIXEIRA, L.A.J.; TESTA, V.M. & MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:207-214, 1994.
- TRIPLETT Jr., G.B. & van DOREN Jr., D.M. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization of non-tilled maize. *Agron. J.*, 61:637-639, 1969.
- VARCO, J.J.; FRYE, W.W.; SMITH, M.S. & MACKOWN, C.T. Tillage effects on nitrogen recovery by corn from a nitrogen-15 labeled legume cover crop. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:822-827, 1989.
- WAGGER, M.G. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. *Agron. J.*, 81:226-241, 1989.
- WIEDER, R.K. & LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*, 63:1636-1642, 1982.