

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

ADUBAÇÃO NITROGENADA NA AVEIA PRETA. I - INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E CICLAGEM DE NUTRIENTES SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO⁽¹⁾

A. SANTI⁽²⁾, T. J. C. AMADO⁽³⁾ & J. A. A. ACOSTA⁽⁴⁾

RESUMO

O desempenho do sistema plantio direto está associado, dentre outros fatores, à quantidade e à qualidade dos resíduos aportados ao solo. A aveia preta é a principal cultura de cobertura utilizada na entressafra das culturas comerciais de verão. Em muitas situações, o desenvolvimento desta gramínea é limitado pela baixa disponibilidade de N do solo. Neste contexto, a adubação nitrogenada pode ser uma alternativa para aumentar a eficiência da aveia preta como cultura de cobertura no sistema plantio direto. O objetivo principal do presente estudo foi verificar a influência de doses de adubação nitrogenada sobre a produção de fitomassa, quantidade de nutrientes acumulados (N, P, K, Ca e Mg) e relação C/N dos resíduos produzidos pela cultura da aveia. O trabalho foi realizado durante os anos de 1998, 1999 e 2000, na área experimental do Departamento de Solos da UFSM, Santa Maria (RS), em um Argissolo Vermelho distrófico arênico com 19 g kg⁻¹ de MO. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições e sete tratamentos com aveia preta. Nestes, foram aplicadas as seguintes doses de N: 0, 40, 80, 120, 160, 200 e 240 kg ha⁻¹. A fonte de N foi a uréia, aplicada parceladamente e a lanço na cultura da aveia. A adubação com P e K e a correção da acidez foram iguais em todos os tratamentos. A adubação nitrogenada ocasionou resposta quadrática na produção de matéria seca e na quantidade de nutrientes estocados na parte aérea da aveia, exceção ao N cuja resposta foi linear. A recuperação de N desta gramínea foi baixa, alcançando 33 %, na média dos três anos. Na maior dose de N aplicada, a ciclagem de P e K

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Recebido para publicação em fevereiro de 2002 e aprovado em agosto de 2003.

⁽²⁾ Pesquisador da FEPAGRO, Engenheiro-Agrônomo, MSc. em Biodinâmica do Solo. Rua Emílio Grando 239, CEP 99700-000 Erechim (RS). E-mail: anderson-santi@fepagro.rs.gov.br

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CEP 97119-900 Santa Maria (RS). Bolsista do CNPq. E-mail: tamado@smail.ufsm.br

⁽⁴⁾ Graduando do Curso de Agronomia, UFSM. Bolsista da FAPERGS. E-mail: jacosta@mail.ufsm.br

foi aumentada em, respectivamente, 70 e 88 % em relação ao tratamento sem adubação. Para o Ca, a dose estimada de 120 kg ha⁻¹ de N promoveu incremento de 95 % no acúmulo deste nutriente, enquanto, para o Mg, levou a um aumento de 90 %, quando comparada ao tratamento sem adubação nitrogenada. A relação C/N dos resíduos produzidos diminuiu, aproximadamente, em uma unidade a cada 10 kg ha⁻¹ de N aplicados na aveia. Portanto, a adubação nitrogenada, além de proporcionar maior ciclagem de nutrientes, foi uma eficiente estratégia para melhorar a quantidade e a qualidade dos resíduos de aveia preta aportados ao solo no sistema plantio direto.

Termos de indexação: sistemas conservacionistas, relação C/N, nutrientes acumulados, *Avena strigosa*.

SUMMARY: BLACK OAT BIOMASS AND NUTRIENT CYCLING AS AFFECTED BY NITROGEN FERTILIZATION IN SOIL UNDER NO-TILLAGE

The performance of no-tillage systems depends, among other factors, on the quantity and quality of residues added to the soil. In Southern Brazil, the main cover crop antecedent summer crops is black oat (*Avena strigosa*, Schieb). The growth of this grass is often limited by N deficiency. In this situation, nitrogen fertilization is a possible option to increase the efficiency of this cover crop in no-tillage systems. Main goal of this study was the evaluation of effects of N rates applied on black oat and biomass production, the amount of nutrient uptake (N, P, K, Ca, and Mg), as well as the C/N ratio in the produced residues. The experiment was carried out during 1998, 1999, and 2000 at the Federal University of Santa Maria, on the experimental area of the Soil Science Department, Santa Maria county, Rio Grande do Sul State, Brazil, on a typic Hapludalf with a sandy loam A horizon and 19 g kg⁻¹ organic matter. The experimental layout was a completely randomized block design in four replicates, with treatments that consisted in seven N rates (0, 40, 80, 120, 160, 200, and 240 kg ha⁻¹) applied to the black oat. Urea, used as N source, was spread out manually and in up to four split applications. Lime, P and K fertilization, based on crop needs, was applied at constant rates in all treatments. Nitrogen fertilization of black oat gave rise to a quadratic response in biomass production and nutrient contents stored in the oat shoots, while N responded linearly. The plant N recovery was low (around 33 % of the total N applied) in a three year average. Under the highest N dose, the amounts of recycled P and K was 70 and 88 % higher than in oat without N application. At the estimated N application rate of 120 kg ha⁻¹, the amount of recycled Ca increased by 95 % and the recycled Mg by 90 %, compared to the treatment without nitrogen fertilizer. The C/N ratio of the produced residues decreased by about one unit for each 10 kg ha⁻¹ of applied N. In conclusion, N fertilization is a viable alternative to increase the quality and quantity of black oat biomass added to soils in no-tillage systems; besides, it improves nutrient cycling.

Index terms: conservation systems, C/N ratio, nutrient uptake, *Avena strigosa*.

INTRODUÇÃO

O aporte de elevada quantidade de resíduos ao solo é um dos principais requisitos do sistema plantio direto em condições tropicais e subtropicais. Nos últimos 15 anos, com a difusão desse sistema conservacionista, houve grande incremento na área plantada com aveia preta no Sul do Brasil. Atualmente, esta gramínea é a principal cultura de

cobertura hiberna (Pötter & Roman, 1994), ocupando extensas áreas no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Dentre as principais vantagens do cultivo da aveia preta como cultura de cobertura, destacam-se: a redução da erosão e do escoamento superficial, o aumento da infiltração de água e do conteúdo de carbono orgânico no solo, a ciclagem de nutrientes, a mobilização de cátions no perfil, o controle de inóculos, além de outros benefícios ao solo e às culturas

comerciais cultivadas em sucessão (Debarba & Amado, 1997; Bayer & Mielniczuk, 1997; Mielniczuk, 1998; Franchini et al., 1999; Spagnollo, 2000; Amado et al., 2000).

Grande parte dos benefícios ao solo advindos do cultivo da aveia preta depende da quantidade e da qualidade dos resíduos produzidos. O N é o nutriente que tem maior efeito no crescimento da aveia e o que, freqüentemente, mais limita a sua produção de fitomassa. A disponibilidade de N estimula o crescimento e a atividade radicular, com reflexos positivos na absorção de outros nutrientes (Olson & Kurtz, 1982; Yanai et al., 1996) e na quantidade de matéria seca produzida pela aveia (Santi, 2001). Segundo Mundstock & Bredemeier (2001), isto se deve ao incremento no número de afilhos da aveia preta quando fertilizada com esse nutriente.

A aveia preta, quando utilizada como cultura de cobertura, na maioria das vezes, é subadubada ou não recebe adubação. Neste caso, a sua nutrição baseia-se na adubação residual da cultura econômica. Este manejo pode limitar o seu desenvolvimento, especialmente em solos com baixa disponibilidade de N e, por conseqüência, prejudicar todo o sistema plantio direto.

A adubação nitrogenada na aveia preta pode ser uma das alternativas para solucionar esse problema, uma vez que essa gramínea apresenta elevada capacidade de extração e de acúmulo de N, podendo alcançar, em condições favoráveis, até 150 kg ha⁻¹ na parte aérea e raízes (Derpsch et al., 1985). Estas características conferem a essa espécie potencial para reduzir os riscos de contaminação do lençol freático com nitrato, ao mesmo tempo que pode vir a ser uma fonte de N, mediante a decomposição dos resíduos, para as culturas em sucessão.

Flecha (2000), avaliando doses de N (0 a 60 kg ha⁻¹) aplicadas no perfilhamento da aveia preta, concluiu que a produção de matéria seca aumentou linearmente com as doses utilizadas. Para solos de baixa fertilidade, a Comissão de Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CFS-RS/SC) (1995) recomenda adubação nitrogenada na aveia de 140 a 180 kg ha⁻¹ de N. No entanto, Lupatini et al. (1998), estudando a produção de matéria seca de uma pastagem composta por aveia + azevém (*Lolium multiflorum*, Lam.), encontraram resposta até a maior dose de N avaliada (300 kg ha⁻¹). Além da quantidade de matéria seca, a qualidade da forragem, expressa pela produção de proteína bruta, aumentou, nesse experimento, em torno de 300 % em relação ao tratamento sem N. Portanto, a adubação das culturas de cobertura, pelo incremento da quantidade e da qualidade dos resíduos aportados ao solo, é uma das práticas que pode, potencialmente, aumentar a eficiência do sistema plantio direto, necessitando ser mais bem investigada.

A persistência dos resíduos culturais sobre o solo é definida pela sua velocidade de decomposição, a qual é uma variável importante no manejo do solo. Este processo é essencialmente biológico, sujeito à interferência de diversos fatores (clima, temperatura, tipo de solo, relação C/N, etc.). Dentre eles, a relação C/N assume importante papel na decomposição e na imobilização/mineralização de N do solo. Quemada & Cabrera (1995), avaliando a decomposição da parte aérea de aveia, trigo, triticale e trevo vesiculoso, concluíram que a relação C/N e a concentração de N no tecido foram os melhores indicadores para estimar a liberação de N desses resíduos. A adubação nitrogenada pode, potencialmente, modificar esses indicadores com reflexos na qualidade dos resíduos produzidos.

De modo geral, as plantas de cobertura desempenham papel fundamental na ciclagem de nutrientes, tanto daqueles adicionados por meio dos fertilizantes minerais e não aproveitados pelas culturas comerciais, como daqueles provenientes da mineralização da matéria orgânica (MO) e do próprio material de origem do solo (Aita et al., 2000). Particularmente, a aveia preta é muito eficiente na ciclagem de nutrientes por sua grande capacidade de produção de matéria seca (Sá, 1997), pelo elevado "stand" de plantas e pelo agressivo sistema radicular (Floss, 2000). A ciclagem de nutrientes pela aveia também pode ser afetada pela disponibilidade de N no solo.

Krzywy & Woloszyk (1984) avaliaram doses de N aplicadas na aveia (0 a 150 kg ha⁻¹), por um período de três anos, sobre as produções de matéria seca e sobre os teores totais de N, P e K acumulados na fitomassa. Os autores observaram que a produção de matéria seca da aveia respondeu até à dose de 90 kg ha⁻¹ de N. No entanto, as concentrações de N e K na matéria seca foram crescentes até à dose máxima de N aplicada, enquanto o teor de P manteve-se constante. Isto é um indicativo de que a limitação de N pode comprometer a capacidade da aveia de ciclar outros nutrientes, que foram adicionados ou já se encontravam disponíveis no solo.

Este trabalho objetivou avaliar o efeito da adubação nitrogenada na aveia sobre a quantidade e qualidade dos resíduos aportados ao solo no sistema plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido durante os anos de 1998, 1999 e 2000, na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (RS), na região fisiográfica da Depressão Central, em um Argissolo Vermelho distrófico arênico (Hapludalf), pertencente à unidade de mapeamento São Pedro (EMBRAPA, 1999).

Nos dois anos antecedentes ao experimento, a área vinha sendo cultivada no sistema plantio direto com milho no verão e pousio no inverno. Anteriormente, a área encontrava-se em pousio.

Por ocasião da instalação do experimento, em 1998, foi realizada a análise química do solo na profundidade de 0-15 cm, apresentando os seguintes resultados: MO = 19 g kg⁻¹; pH (H₂O) = 4,5; P (Mehlich-1) = 5,2 mg dm⁻³, K = 0,22 cmol_c dm⁻³, Ca = 1,60 cmol_c dm⁻³ e Mg = 0,80 cmol_c dm⁻³. Ao final do ano de 1999, o experimento apresentava as seguintes características químicas: MO = 22 g kg⁻¹; pH (H₂O) = 5,8; P = 12,0 mg dm⁻³, K = 0,22 cmol_c dm⁻³, Ca = 4,60 cmol_c dm⁻³ e Mg = 2,80 cmol_c dm⁻³.

O clima da região é subtropical úmido, tipo Cfa 2, conforme classificação de Köppen (Moreno, 1961). A temperatura média das mínimas do mês mais frio é de 9,3 °C e a temperatura média das máximas do mês mais quente é de 31,8 °C, com precipitação média anual de 1.769 mm.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e sete tratamentos. As parcelas experimentais mediram 25 m² (5 x 5 m). Os tratamentos constavam de aveia preta, utilizada como cultura de cobertura antecedendo ao milho, sendo aplicadas as seguintes doses de N (uréia): 0, 40, 80, 120, 160, 200 e 240 kg ha⁻¹.

A aveia foi semeada a lanço, no mês de junho em 1998, e em linha, no mês de maio nos anos de 1999 e 2000. Foram utilizados, nos três anos, 80 kg ha⁻¹ de sementes. A acidez foi corrigida, em 1998, com aplicação a lanço de 3.200 kg ha⁻¹ de calcário calcítico, ajustado para PRNT 100 %. Para a adubação de base, no ano de 1998, foram aplicados a lanço, no momento do plantio da aveia, 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de K₂O. Nos anos de 1999 e 2000, foram aplicados 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 de K₂O. Em todos os anos, as fontes de P e K foram o superfosfato triplo e o cloreto de potássio, respectivamente. Para a adubação nitrogenada de base foram aplicados

20 kg ha⁻¹ de N, e o restante em até três coberturas aplicadas a lanço e em condições de umidade favorável. As épocas de aplicação são apresentadas no quadro 1. O manejo da aveia foi realizado na fase de grão leitoso com a aplicação de um dessecante à base de *glyphosate* na dosagem de 2 L ha⁻¹.

Nas parcelas experimentais (5 x 5 m), foram descartadas as bordaduras de 0,5 m para fins de amostragem, totalizando uma área útil de 16 m². A matéria seca da aveia foi determinada no estádio de grão leitoso, com duas amostragens ao acaso dentro da área útil da parcela, com um quadro de 0,7 x 0,7 m. A parte aérea da aveia coletada foi seca em estufa a 65 °C até peso constante. Após, as amostras foram pesadas para a determinação da matéria seca e moídas em um triturador de forrageiras, subamostradas e moídas novamente num moinho tipo Willey, equipado com peneira 40 mesh. Os nutrientes N, P, K, Ca e Mg foram extraídos e determinados segundo o método descrito em Tedesco et al. (1995), bem como o teor de carbono orgânico por meio de digestão sulfocrômica com aquecimento externo, segundo Tedesco et al. (1995).

Os dados referentes à produção de matéria seca, ao acúmulo de nutrientes no tecido e à relação C/N foram testados quanto à interação entre os anos (P < 0,01) e posteriormente analisados por meio de análise de regressão. Todas as operações estatísticas foram realizadas com base no programa estatístico SOC (Software Científico – Embrapa, 1989).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de matéria seca da parte aérea da aveia preta adubada com nitrogênio

A produção de matéria seca da aveia, na média de três anos, apresentou resposta crescente à aplicação de N, com ponto de máxima eficiência

Quadro 1. Época de aplicação das doses de nitrogênio na aveia preta, nos anos de 1998 a 2000

Tratamento	Época de aplicação			Total
	Semeadura	20 DAE ⁽¹⁾	50 DAE	
	Dose de N, kg ha ⁻¹			
1	0	0	0	0
2	20	20	0	40
3	20	30	30	80
4	20	50	50	120
5	20	50	50	160
6	20	60	60	200
7	20	70	70	240

⁽¹⁾ Dias após a emergência da aveia.

técnica (MET) de 180 kg ha⁻¹ (Figura 1). No entanto, verificou-se pequena resposta a doses superiores a 120 kg ha⁻¹. Esses valores concordam com a faixa de adubação de N recomendada pela CFS-RS/SC (1995), de 140 a 180 kg ha⁻¹, para solos com baixo teor de MO. Na ausência de adubação nitrogenada, a produção de matéria seca foi 56 % daquela verificada na MET. Este resultado evidencia que o N fornecido pela mineralização da MO desse solo não foi suficiente para, de forma isolada, maximizar a produção de matéria seca da aveia.

A equação quadrática, ajustada aos dados experimentais, indicou que as maiores respostas foram encontradas nas doses iniciais e decresceram com o aumento da quantidade de N aplicada. Todavia, Lupatini et al. (1998), trabalhando com a mesma classe de solo deste experimento, numa pastagem de aveia preta + azevém, submetida a quatro cortes, encontraram aumento linear na produção de matéria seca com a aplicação de até 300 kg ha⁻¹ de N. Acredita-se que o manejo com cortes frequentes da pastagem justifique a maior resposta à adubação nitrogenada. Este fato revela que a dose de N a ser aplicada na aveia poderá ser diferenciada de acordo com o objetivo: a utilização como forrageira ou como cultura de cobertura. No primeiro caso, Lupatini et al. (1998) sustentaram que a adubação nitrogenada recomendada pela CFS-RS/SC (1995) não foi suficiente para que a aveia maximizasse o seu potencial de produção de forragem. Por outro lado, para fins de produção de matéria seca e cobertura do solo, fator avaliado neste trabalho, a dose recomendada pela CFS-RS/SC (1995) mostrou-se satisfatória.

Observou-se, a partir da dose de MET, que a adubação nitrogenada ocasionou acamamento na cultura da aveia, nos três anos avaliados. É provável

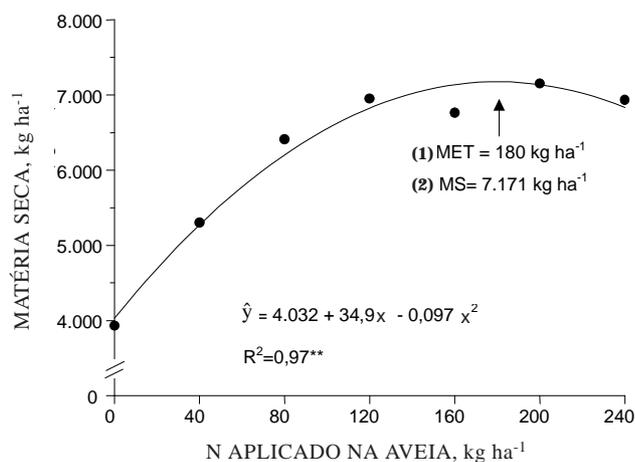


Figura 1. Produção de matéria seca de acordo com as doses de N aplicadas na aveia preta, na média dos anos de 1998 a 2000. ⁽¹⁾ MET = Máxima eficiência técnica. ⁽²⁾ MS = Matéria seca de aveia.

que tal fato justifique a menor resposta da aveia à adubação nitrogenada, quando utilizada como cultura de cobertura, na ausência de cortes, em relação àquela obtida como forrageira.

Quantidade acumulada e concentração de N na parte aérea da aveia preta

O N acumulado pela aveia preta aumentou linearmente com as doses aplicadas (Figura 2) e correspondeu a um acréscimo de aproximadamente 300 %, quando comparado ao tratamento sem a aplicação de N. Assim, diferentemente da produção da matéria seca (Figura 1), houve resposta no acúmulo de N na fitomassa da aveia até à maior dose de N aplicada, indicando possibilidade de resposta a doses ainda maiores do que 240 kg ha⁻¹.

A quantidade de N estocada na parte aérea da aveia preta alcançou, aproximadamente, 120 kg ha⁻¹ para a maior dose de N avaliada. Esta elevada quantidade de N na fitomassa é semelhante àquela reportada por Derpsch et al. (1985), para a aveia preta, e semelhante, ou até superior, ao estoque encontrado em muitas leguminosas (Da Ros & Aita, 1996; Amado et al., 1999; Basso, 1999; Giacomini et al., 2000). Com base na equação ajustada, a recuperação aparente do N aplicado na adubação pela fitomassa da parte aérea da aveia foi de 33 %. Este valor é ligeiramente superior ao encontrado por Flecha (2000), em experimento com adubação nitrogenada na aveia, realizado em área próxima à desse experimento. A fonte de N (uréia) e a forma de aplicação (a lanço) podem favorecer a ocorrência de elevadas perdas por volatilização, conforme determinado por Lara Cabezas et al. (1997a;b). Este fato justificaria, pelo menos em parte, a baixa recuperação de N verificada nesse experimento. Além disso, parte do N aplicado pode ter sido

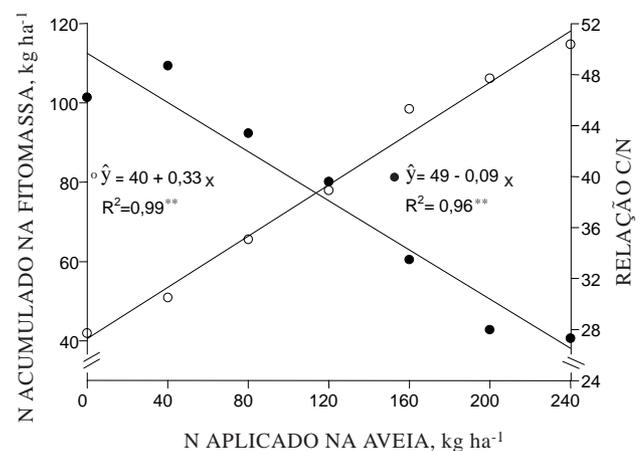


Figura 2. Quantidade de N acumulado e relação C/N da parte aérea da aveia preta de acordo com as doses de N aplicadas, na média dos anos de 1998 a 2000.

imobilizado pela população microbiana, uma vez que este solo apresenta baixo teor de MO, aliado à presença de resíduos de milho, de alta relação C/N, condições estas que favorecem esse processo.

Com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N, verificou-se uma produção correspondente a 95 % da máxima alcançada (Figura 1). Neste caso, a concentração de N foi de 12,7 g kg⁻¹ (Quadro 2), correspondendo a um acúmulo aproximado de 87 kg ha⁻¹ de N. Stanford (1973), avaliando grande número de experimentos nos Estados Unidos, concluiu que a concentração de 12 g kg⁻¹ de N na MS do milho maximizou o rendimento de grãos. Amado & Mielniczuk (2000), na Depressão Central do Rio Grande do Sul, considerando uma faixa de 90 a 100 % da máxima produção de matéria seca de milho, encontraram concentrações de N variando de 9 a 12,5 g kg⁻¹ MS. Neste experimento, tendo como base a mesma faixa de produção de matéria seca proposta pelos últimos autores, foram encontradas concentrações de N na aveia muito próximas daquelas registradas no milho.

Para ilustrar, a quantidade de N absorvida (87 kg ha⁻¹) próxima à maior produção de matéria seca foi, aproximadamente, 107 % superior à verificada na ausência de adubação nitrogenada (42 kg ha⁻¹). Este resultado indica que a mineralização da MO atendeu menos de 50 % da necessidade de N dessa cultura para maximizar a produção de MS.

Efeito da adubação nitrogenada sobre a relação C/N dos resíduos de aveia preta

O aumento da dose de N foi inversamente correlacionado com a relação C/N dos resíduos produzidos (Figura 2). Este fato indica que, à medida que o requerimento de N pela cultura é atendido, verifica-se incremento da concentração deste nutriente no tecido, promovendo a redução da relação C/N. Esta redução pode alterar a dinâmica da decomposição e da liberação de N dos resíduos da aveia, pois a relação C/N é considerada um dos principais fatores que governam estes processos (Tian et al., 1992; Jama & Nair, 1996; Janssen, 1996; Mary et al., 1996).

A equação linear ajustada aos dados experimentais, na média do período estudado, indicou que, a cada 10 kg ha⁻¹ de N aplicado, houve uma redução de, aproximadamente, uma unidade na relação C/N da aveia (Figura 2). A relação C/N dessa gramínea foi reduzida em 44 % na maior dose de N aplicada, em relação àquela obtida na ausência de adubação nitrogenada. Com isto, verificou-se que a relação C/N da aveia adubada com N aproximou-se do valor crítico (C/N = 25), citado como limite entre os processos de imobilização e mineralização de N (Aita, 1997; Jensen, 1997). O decréscimo da relação C/N pode aumentar o potencial da aveia em fornecer N para a cultura em sucessão. Além disto, o decréscimo dessa relação pode ser importante estratégia na

melhoria da sincronia entre a disponibilização de nutrientes pelos resíduos com a demanda da cultura em sucessão, aumentando a eficiência da ciclagem de nutrientes. Esta possibilidade deve ser mais bem investigada em futuros trabalhos.

Ciclagem de nutrientes pela cultura da aveia preta adubada com nitrogênio

A ciclagem dos nutrientes P, K, Ca e Mg pela aveia foi positivamente influenciada pela adubação nitrogenada (Figura 3). Resultados semelhantes foram relatados anteriormente por Krzywy & Woloszyk (1984). Para estes nutrientes, a quantidade acumulada na fitomassa respondeu de forma quadrática às doses de N aplicadas, seguindo a mesma tendência verificada para a produção de matéria seca da aveia (Figura 1). Assim, a maior ciclagem de nutrientes pela aveia quando adubada com N pode ser atribuída, dentre outros fatores, à maior produção de matéria seca e, provavelmente, ao estímulo no crescimento do sistema radicular.

O comportamento semelhante entre as curvas de produção de MS (Figura 1) e de absorção de nutrientes (Figura 3) evidencia que a adubação nitrogenada influenciou a produção de matéria seca, sem, no entanto, alterar significativamente a concentração de nutrientes, à exceção do N (Quadro 2). Assim, para os nutrientes P, K, Ca e Mg, cujas doses aplicadas foram as mesmas em todos os tratamentos, não foi verificado efeito de diluição dessas concentrações no tecido, quando a MS da aveia foi incrementada pelas doses de N aplicadas. Este resultado é importante, pois ressalta o elevado potencial de ciclagem de nutrientes da aveia, quando o requerimento de N é atendido e a produção de MS maximizada.

A resposta quadrática de acúmulo de nutrientes na fitomassa da aveia, conforme as doses de N aplicadas, indica que os maiores incrementos ocorreram nas doses iniciais, notadamente até 120 kg ha⁻¹ (Figura 3). Com as maiores doses de adubação nitrogenada utilizada, não foi possível alcançar o ponto de máximo acúmulo para o P e o K, enquanto, para o Ca e o Mg, estes valores foram de 175 e 225 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Para o P, na dose de 120 kg ha⁻¹ de N (metade da máxima dose testada), verificou-se um incremento de 3,8 kg ha⁻¹ desse nutriente em relação à testemunha. Este incremento corresponde a 68 % da ciclagem máxima obtida, com base nas equações apresentadas na figura 3a. Na maior dose de N aplicada (240 kg ha⁻¹), verificou-se um incremento de 70 % no acúmulo de P, quando comparado ao tratamento sem adubação nitrogenada.

Dentre os nutrientes estudados, o K foi, quantitativamente, o mais ciclado pela aveia, alcançando, somente na parte aérea, 141 kg ha⁻¹ na maior dose de adubação nitrogenada (Figura 3b). Este valor corresponde a um incremento de 88 % na

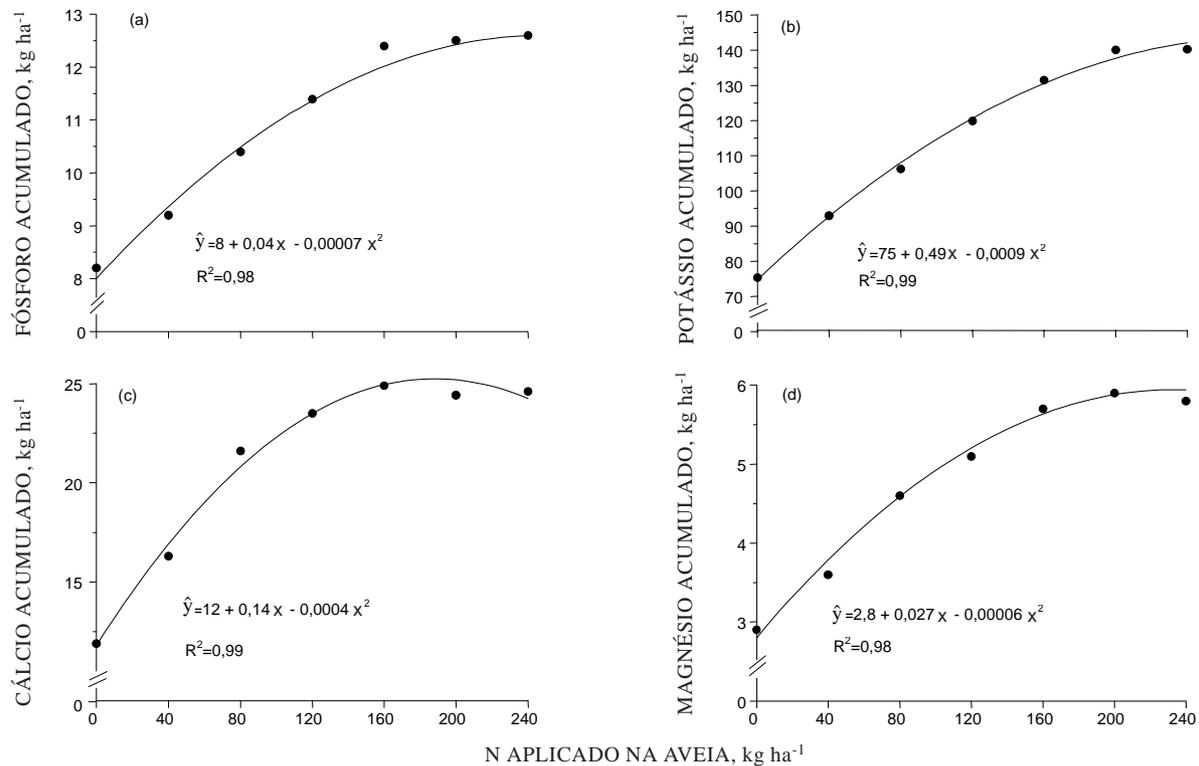


Figura 3. Fósforo (a), potássio (b), cálcio (c) e magnésio (d) acumulados na parte aérea de acordo com as doses de N aplicadas na aveia, na média dos anos 1998 e 1999.

Quadro 2. Concentração de nutrientes na matéria seca da aveia de acordo com as doses de nitrogênio aplicadas

Dose de N	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹				
0	10,6 c ⁽¹⁾	2,1 a	18,7 a	2,5 a	0,040 a
40	9,3 c	1,8 a	17,1 a	3,4 a	0,045 a
80	10,3 c	1,8 a	17,2 a	3,4 a	0,046 a
120	12,7 bc	1,7 a	17,1 a	3,5 a	0,047 a
160	15,0 ab	2,0 a	18,9 a	3,7 a	0,055 a
200	15,6 a	2,0 a	19,7 a	3,2 a	0,054 a
240	16,2 a	1,8 a	20,4 a	4,1 a	0,055 a
C.V. (%)	11,1	8,7	16,8	23,9	37,3

⁽¹⁾ Tukey a 5 %.

quantidade de K acumulado na fitomassa da aveia daquele tratamento em relação ao sem adubação nitrogenada. Segundo Coelho & França (2003), esta quantidade de K ciclada pela fitomassa da aveia seria superior à necessidade de absorção para um rendimento de milho de 7,9 Mg ha⁻¹. Assim, a ciclagem de K pela aveia é uma importante estratégia de redução de perdas deste nutriente por lixiviação na entressafra das culturas comerciais. Na média dos três anos avaliados, a aveia acumulou quantidades de K muito superiores àquelas

aplicadas na adubação de base (média próxima a 50 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O). Este resultado indica que a aveia absorveu o K residual da cultura comercial de verão (70 kg ha⁻¹ de K₂O aplicado no milho) acrescido daquele que estava presente naturalmente no solo (nativo).

Na ciclagem de Ca, a dose de 120 kg ha⁻¹ de N apresentou incremento de 11 kg ha⁻¹ na quantidade absorvida desse nutriente pela parte aérea da aveia em relação à testemunha. Este incremento

representa 95 % da máxima ciclagem obtida, com base nas equações apresentadas na figura 3c. Já para o Mg, com a mesma dose de adubação nitrogenada, o incremento na quantidade acumulada foi de 2,4 kg ha⁻¹, representando 90 % da máxima ciclagem obtida. Quantitativamente, a ordem decrescente de ciclagem de nutrientes, com base no tratamento sem adubação nitrogenada, foi a seguinte: K > Ca > P > Mg. Esta ordem segue a concentração de nutrientes na fitomassa (Quadro 2). Estas quantidades cicladas pela aveia atenderiam, potencialmente, a toda a demanda de K e Ca, e aproximadamente, 1/3 da demanda de P e Mg para um rendimento de milho de 7,9 Mg ha⁻¹, segundo as exigências nutricionais determinadas por Coelho & França (2003). Já em termos de incremento relativo da ciclagem de nutrientes, a ordem decrescente foi a seguinte: Ca > Mg > K > P. Por sua vez, esta ordem segue a quantidade de nutrientes disponíveis no solo.

Os resultados apresentados indicam o elevado potencial de ciclagem de nutrientes pela aveia, quando o requerimento de N é atendido. Com isto, ressalta-se a importância da adubação nitrogenada na aveia em situações de baixa disponibilidade de N, comum na fase de instalação do sistema plantio direto ou em sucessões de gramíneas.

CONCLUSÕES

1. A adubação nitrogenada na aveia aumentou, de forma quadrática, a produção de matéria seca e, de forma linear, a quantidade de N acumulado na sua fitomassa. No entanto, os maiores incrementos na produção de matéria seca foram verificados com aplicações de até 120 kg ha⁻¹, com ponto de máxima eficiência técnica de 180 kg ha⁻¹.

2. O aumento da disponibilidade de N levou ao decréscimo na relação C/N dos resíduos produzidos pela aveia.

3. A eficiência da aveia em ciclar nutrientes, durante a entressafra das culturas comerciais, foi incrementada, de forma quadrática, pela adubação nitrogenada. Quantitativamente, os nutrientes mais ciclados foram o K e o Ca.

4. A adubação nitrogenada na aveia foi uma eficiente estratégia de incremento na quantidade e qualidade dos resíduos aportados ao solo no sistema plantio direto.

LITERATURA CITADA

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M.R. & DALMOLIN, R.S.D., eds. Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1997. p.76-111.

AITA, C.; FRIES, M.R. & GIACOMINI, S.J. Ciclagem de nutrientes no solo com plantas de cobertura e dejetos de animais. In: FERTBIO, 25., Santa Maria, 2000. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. CD-ROM

AMADO, T.J.C. & MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24:553-560, 2000.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24:179-189, 2000.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V. & BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. R. Bras. Ci. Solo, 23:679-686, 1999.

BASSO, C.J. Épocas de aplicação de nitrogênio para o milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de solo, no sistema plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1999. 76p. (Tese de Mestrado)

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. R. Bras. Ci. Solo, 21:105-112, 1997.

COELHO, A.M. & FRANÇA, G.E. Nutrição e adubação do milho. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/deficiencia/deficiencia.html>>. Acesso em 25 mai. 2003.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - CFRS/SC. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo, 1995. 233p.

DA ROS, C.O. & AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura de solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 20:135-140, 1996.

DEBARBA, L. & AMADO, T.J.C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no Sul do Brasil com características de sustentabilidade. R. Bras. Ci. Solo, 21:473-480, 1997.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N. & HEINZMANN, F.X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. Pesq. Agropec. Bras., 20:761-773, 1985.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

FLECHA, A.M.T. Possibilidades de manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho, em sucessão a aveia preta, no sistema plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 37p. (Tese de Mestrado)

FLOSS, E.L. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema plantio direto. R. Plantio Direto, Mai/Jun:25-29, 2000.

FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. Pesq. Agropec. Bras., 34:2267-2276, 1999.

- GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I.C.; HÜBNER, A.P.; ANDRADA, M.C.; NICOLOSO, R.S. & FRIES, M.R. Consorciação de plantas de cobertura: II. Decomposição e liberação de nutrientes da fitomassa. In: FERBIO, 25., Santa Maria, 2000. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. CD-ROM
- JAMA, B.A. & NAIR, P.K.R. Decomposition and nitrogen-mineralization patterns of *Leucaena leuccephala* and *Cassia siamea* mulch under tropical semiarid conditions in Kenia. *Plant Soil*, 179:275-285, 1996.
- JANSSEN, B.H. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant Soil*, 181:39-45, 1996.
- JENSEN, E.S. Nitrogen immobilization and mineralization during initial decomposition of ¹⁵N-labelled pea and barley residues. *Biol. Fertil. Soils*, 24:39-44, 1997.
- KRZYWY, E. & WOLOSZYK, C. Effect of increasing rates of nitrogen fertilizer on yield and chemical composition of oats. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie*, 35:151-158, 1984.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H. & MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:481-487, 1997a.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H. & MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:489-496, 1997b.
- LUPATINI, G.C.; RESTLE, J.; CERETTA, M.; MOOJEN, E.L. & BARTZ, H.R. Avaliação da mistura de aveia preta e azevém sob pastejo submetida a níveis de nitrogênio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:1939-1943, 1998.
- MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D. & ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant Soil*, 181:71-82, 1996.
- MIELNICZUK, J. Rotação de culturas e níveis críticos de biomassa sobre o solo. In: ENCONTRO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 3., Pato Branco, 1998. Anais. Pato Branco, 1998. CD-ROM
- MORENO, J.A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia, 1961. 46p.
- MUNDSTOCK, C.M. & BREDEMEIER, C. Disponibilidade de nitrogênio e sua relação com o afilamento e o rendimento de grãos de aveia. *Ci. Rural*, 32:205-211, 2001.
- OLSON, R.A. & KURTZ, L.T. Crop nitrogen requirements, utilization, and fertilization. In: STEVENSON, F.J., ed. *Nitrogen in agricultural soils*. Madison, Soil Science of American, 1982. p.567-604.
- PÖTKER, D. & ROMAN, E.S. Efeito de resíduos de culturas e do pousio de inverno sobre a resposta do milho a nitrogênio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 29:763-770, 1994.
- QUEMADA, M. & CABRERA, M.L. Carbon and nitrogen mineralized from leaves and stems of four cover crop residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:471-477, 1995.
- SÁ, J.C.M. Manejo de nitrogênio na cultura do milho no sistema plantio direto. In: *Tecnologia da produção de milho*. Piracicaba, Escola Superior Luiz de Queiroz, 1997.
- SANTI, A. Adubação nitrogenada na aveia preta (*Avena strigosa*, Schieb): decomposição da fitomassa, liberação de nitrogênio e rendimento do milho em sucessão. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2001. 78p. (Tese de Mestrado)
- SOC – Software Científico. EMBRAPA, 1989.
- SPAGNOLLO, E. Plantas de cobertura intercalares ao milho em sistemas de cultivo mínimo e convencional. Lages, Universidade do estado de Santa Catarina, 2000. 121p. (Tese de Mestrado)
- 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.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análises de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TIAN, G.; KANG, B.T. & BRUSSAARD, L. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions- decomposition and nutrient release. *Soil Biol. Biochem.*, 24:1051-1060, 1992.
- YANAI, J.; LINEHAN, D.J.; ROBINSON, D.; YOUNG, I.M.; HACKETT, C.A.; KYUMA, K. & KOSAKI, T. Effects of inorganic nitrogen application on the dynamics of the soil solution composition in the root zone of maize. *Plant Soil*, 180:1-9, 1996.

