

# SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

## MATÉRIA SECA, RELAÇÃO C/N E ACÚMULO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO EM MISTURAS DE PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO<sup>(1)</sup>

S. J. GIACOMINI<sup>(2)</sup>, C. AITA<sup>(3)</sup>, E. R. O. VENDRUSCOLO<sup>(4)</sup>,  
M. CUBILLA<sup>(5)</sup>, R. S. NICOLOSO<sup>(5)</sup> & M. R. FRIES<sup>(6)†</sup>

### RESUMO

O interesse em consorciar plantas de cobertura no inverno tem aumentado nos últimos anos na região Sul do Brasil. Por ser uma prática agrícola recente, é importante avaliar a produção de matéria seca e o acúmulo de nutrientes de espécies consorciadas ou cultivadas isoladamente. Realizou-se um experimento no período de 1998 a 2000, na UFSM (RS), num Argissolo Vermelho distrófico arênico, consorciando-se aveia preta (*Avena strigosa* Schieb) + ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) e aveia preta + nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg.) em diferentes quantidades de sementes. Os nove tratamentos foram: (1) 100 % aveia preta (AP); (2) 100 % ervilhaca comum (EC); (3) 100 % nabo forrageiro (NF); (4) 15 % AP + 85 % EC; (5) 30 % AP + 70 % EC; (6) 45 % AP + 55 % EC; (7) 15 % AP + 85 % NF; (8) 30 % AP + 70 % NF, e (9) pousio invernal (vegetação espontânea). Avaliou-se a produção de matéria seca (MS), bem como as concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e carbono do tecido vegetal. O cultivo consorciado de plantas de cobertura proporcionou produção de matéria seca estatisticamente semelhante àquela da aveia e do nabo em culturas isoladas e superior à da ervilhaca. O acúmulo de N na fitomassa dos tratamentos envolvendo consórcio de aveia + ervilhaca não diferiu daquele da ervilhaca isolada e, na média dos três anos, foi superior ao da aveia isolada em 32 kg ha<sup>-1</sup> de N. Consorciando aveia + ervilhaca, houve um aumento médio de 67 % na relação C/N da fitomassa, em relação à ervilhaca. As plantas de cobertura proporcionaram maior produção de MS e foram mais eficientes no acúmulo de N, P e K do que a vegetação espontânea do pousio invernal. Os resultados indicaram que o consórcio de aveia + ervilhaca e de aveia + nabo no outono/inverno proporcionou maior

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Pesquisa parcialmente financiada com recursos da FAPERGS e do Pronex-CNPq/FINEP. Recebido para publicação em dezembro de 2001 e aprovado em janeiro de 2003.

<sup>(2)</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). Bolsista CAPES. E-mail: sjgiacomini@mail.ufsm.br

<sup>(3)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Solos, UFSM. Bolsista do CNPq. E-mail: caita@ccr.ufsm.br

<sup>(4)</sup> Engenheiro-Agrônomo. SLC Agrícola. Caixa Postal 84, CEP 72800-000 Luziania (GO). E-mail: edsonpp@slcagricola.com.br

<sup>(5)</sup> Aluno do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFSM.

<sup>(6)†</sup> Professor Adjunto do Departamento de Solos, UFSM. *In memoriam*.

**produção de biomassa do que o cultivo isolado de cada espécie, pois combinou a elevada capacidade de produção de fitomassa de aveia e nabo com a fixação de N<sub>2</sub> atmosférico da ervilhaca.**

**Termos de indexação: aveia, ervilhaca, nabo, leguminosa-gramínea, consórcio, plantio direto.**

**SUMMARY: DRY MATTER, C/N RATIO AND NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM ACCUMULATION IN MIXED SOIL COVER CROPS IN SOUTHERN BRAZIL**

*An increase in the use of winter mixed cover crops has been observed in Southern Brazil during the last years. As a new agricultural practice, it is important to evaluate its potential benefits in dry matter production and nutrient accumulation. A field experiment was carried out from 1998 to 2000, in UFSM (RS), on a Typic Paludalf soil. Black oat (*Avena strigosa* Schieb) + common vetch (*Vicia sativa* L.) and black oat + oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg.) were cultivated in different proportions of seed mixing. There were nine treatments: (1) 100 % black oat (AP), (2) 100 % common vetch (EC), (3) 100 % oilseed radish (NF), (4) 15 % AP + 85 % EC, (5) 30 % AP + 70 % EC, (6) 45 % AP + 55 % EC, (7) 15 % AP + 85 % NF, (8) 30 % AP + 70 % NF, and (9) fallow (spontaneous vegetation). Dry matter (DM) and the concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium and carbon in cover crop biomass were determined. The crop mixture DM yield was similar to that of single oat and single oilseed radish and greater than single vetch. Nitrogen in the biomass of oat + vetch mixtures did not differ from that of single vetch, and was, on average, 32 kg ha<sup>-1</sup> of N higher than that of single oat in the three years. The C/N ratio of oat + common vetch was 67 % higher compared to the single vetch crop. The cover crops provided greater DM and were more efficient in N, P and K accumulation than the winter fallow spontaneous vegetation. Results of this study indicated that the cultivation of a mixture of oat + common vetch and oat + oilseed radish is more efficient than single crops are, since it combines the high biomass production capacity of black oat and oilseed radish with the ability of common vetch to fix atmospheric N<sub>2</sub>.*

*Index terms: oat, vetch, oilseed radish, grass-legume, bicultures, no-tillage.*

## INTRODUÇÃO

As plantas de cobertura de solo constituem um importante componente em sistemas agrícolas, protegendo o solo da erosão, facilitando a ciclagem de nutrientes, adicionando N ao solo via leguminosas e mantendo a umidade do solo após seu manejo (Derpsch et al., 1985).

Em sua maioria, os trabalhos realizados com plantas de cobertura de solo no outono/inverno, na região Sul do Brasil, têm focado o uso dessas plantas em culturas isoladas. As principais espécies estudadas são a ervilhaca comum, a aveia preta e, mais recentemente, o nabo forrageiro (Aita, 1997). Nesses estudos, há uma coincidência de resultados, apontando a aveia como excelente opção para a produção de fitomassa, além da longa persistência dos seus resíduos culturais no solo após o manejo (Derpsch et al., 1985; Da Ros, 1993). Todavia, a disponibilidade de N ao milho é, freqüentemente, comprometida pela imobilização microbiana de N

durante a decomposição do material orgânico com elevada relação C/N (Da Ros, 1993; Aita et al., 2001). Já a ervilhaca, pela capacidade de fixar o N<sub>2</sub> atmosférico, e o nabo, pela eficiência na ciclagem de N do solo, apresentam elevado potencial de fornecimento de N ao milho, embora seus resíduos culturais sejam rapidamente decompostos e, portanto, pouco eficientes no que concerne à proteção do solo contra os agentes erosivos (Da Ros, 1993; Basso, 1999; Aita et al., 2001).

Uma alternativa que permite aliar as características desejáveis destas três espécies é a consorciação entre elas. Conforme Trenbarth (1974), Ranells & Wagger (1997) e Heinrichs et al. (2001), as principais vantagens dessa modalidade de cultivo das plantas de cobertura, em relação ao cultivo isolado, são: (1) maior rendimento de matéria seca e maior acúmulo de nutrientes; (2) a gramínea no consórcio irá esgotar o N disponível do solo e estimulará a fixação biológica de N<sub>2</sub> pela leguminosa; (3) a água e os nutrientes do solo podem

ser mais eficientemente utilizados mediante a exploração de diferentes volumes de solo por sistemas radiculares com distribuição distinta, e (4) a presença de gramíneas na mistura com leguminosas adiciona ao solo uma fitomassa com relação C/N intermediária àquelas das culturas isoladas, proporcionando, simultaneamente, proteção do solo e fornecimento de N à cultura em sucessão.

O desempenho de plantas de cobertura, quando consorciadas, é um aspecto ainda pouco estudado no Brasil, restringindo-se ao consórcio entre aveia e ervilhaca (Basso, 1999; Heinrichs et al., 2001). É necessário ampliar o número de espécies, selecionando-se aquelas que melhor se adaptem ao cultivo consorciado, bem como estabelecer a proporção ideal de cada espécie no consórcio, visando maximizar a produção de matéria seca (MS), a adição de carbono ao solo e o acúmulo de nutrientes, principalmente de nitrogênio, fósforo e potássio.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de cultivos isolados e consorciados de aveia, ervilhaca e nabo sobre a produção de fitomassa, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea das plantas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no campo, durante três anos (1998 a 2000), na área Experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (RS), localizada a 29° 45' S e 53° 42' W e altitude de 95 m. O clima da região é subtropical úmido, tipo Cfa2, conforme classificação de Köppen. As médias anuais de temperatura, precipitação e umidade relativa são de 19,3 °C, 1.561 mm e 82 %, respectivamente.

Utilizou-se um Argissolo Vermelho distrófico arênico (Typic Paludalf) (EMBRAPA, 1999), com textura franco-arenosa no horizonte A e franco-argilosa no horizonte B. No início do experimento, o solo da camada 0-20 cm apresentou as seguintes características físico-químicas: 150 g dm<sup>-3</sup> de argila; pH H<sub>2</sub>O (1:1) 5,5; índice SMP 6,2; 13,4 mg dm<sup>-3</sup> de P (Mehlich-1); 57,5 mg dm<sup>-3</sup> de K; 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al<sup>3+</sup>; 2,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup>; 0,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>2+</sup> e 16 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Em parcelas de 5 x 16 m, foram semeadas as seguintes culturas de cobertura de solo no outono/inverno: aveia preta (*Avena strigosa* Schieb) – AP, ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) – EC e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzger) – NF, em culturas isoladas e consorciadas. Os tratamentos avaliados foram os seguintes: (1) 100 % AP (80 kg ha<sup>-1</sup> de sementes); (2) 100 % EC (80 kg ha<sup>-1</sup> de sementes);

(3) 100 % NF (14 kg ha<sup>-1</sup> de sementes); (4) 15 % AP + 85 % EC; (5) 30 % AP + 70 % EC; (6) 45 % AP + 55 % EC (apenas em 1999 e 2000); (7) 15 % AP + 85 % NF (apenas em 1998); (8) 30 % AP + 70 % NF, e (9) pousio invernal (vegetação espontânea).

A semeadura das plantas de cobertura foi feita em 21/05/1998, 18/05/1999 e 23/05/2000, manualmente, a lanço, incorporando-se as sementes com a passagem de uma grade regulada para mínimo revolvimento do solo. Optou-se pela passagem da grade após constatar a dificuldade em distribuir uniformemente as sementes nas parcelas com o uso de semeadora para plantio direto. No primeiro ano, as espécies foram semeadas em sucessão à soja e, nos dois últimos anos, em sucessão ao milho. O poder germinativo (PG) das espécies variou em cada ano. Na ervilhaca, ele foi de 46, 75 e 85 %, em 1998, 1999 e 2000, respectivamente; no nabo, de 90, 75 e 85 %, e na aveia, de 95, 85 e 90 %. Somente nos dois últimos anos, a quantidade de sementes de cada tratamento foi corrigida para 100 % de PG. Na ervilhaca, as sementes foram inoculadas com *Rhizobium viceae* (estirpe SEMIA 384).

Todas as espécies foram plantadas sem aplicação de fósforo e potássio. Considerando a constatação visual de deficiência de N na aveia e no nabo, em 1998, foram aplicados 30 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, na forma de uréia, em todos os tratamentos em que estas duas espécies faziam parte. O único tratamento que não recebeu N-uréia foi aquele com ervilhaca isolada. Em 1999 e 2000, utilizaram-se 20 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura apenas nos tratamentos que continham aveia e nabo em culturas isoladas e quando consorciadas entre si.

Em 28/09/1998, 28/09/1999 e 30/09/2000, procedeu-se à avaliação da matéria seca (MS), da parte aérea, coletando-se, aleatoriamente, duas subamostras de 0,49 m<sup>2</sup> em cada parcela, que foram reunidas de imediato em uma amostra única. No momento da avaliação, a aveia encontrava-se no estágio de florescimento pleno, a ervilhaca no início do florescimento e o nabo forrageiro no final do florescimento. Nos tratamentos constituídos por consórcios, procedeu-se à separação das espécies, a fim de determinar a contribuição de cada uma na produção total de MS. O material coletado foi levado à estufa a 65 °C até peso constante, pesado, moído em um triturador de forragens, subamostrado e moído novamente em moinho Willey (peneira com malha de 0,33 mm).

As concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) das plantas de cobertura foram determinadas no extrato obtido após a oxidação úmida de 0,2 g de tecido vegetal seco e moído (Tedesco et al., 1995). Para determinar o teor de carbono (C), usou-se o método Walkley Black descrito em Tedesco et al. (1995).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, testando-se a interação entre os fatores

plantas de cobertura x ano. Considerando que a interação entre estes dois fatores foi significativa para todas as variáveis analisadas, os resultados foram apresentados separadamente para cada ano. As médias de tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 %.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Produção de matéria seca

Analisando a produção de MS nos três anos, observa-se que, entre as culturas isoladas, a aveia apresentou produção de MS (4,12 a 4,60 Mg ha<sup>-1</sup>) semelhante à do nabo (3,58 a 5,53 Mg ha<sup>-1</sup>) e maior do que a da ervilhaca (2,27 a 3,30 Mg ha<sup>-1</sup>) (Quadro 1). A superioridade da aveia preta sobre a ervilhaca corrobora resultados de Heinrichs et al. (2001), que trabalharam nas mesmas condições de solo e clima do presente estudo, e confirma que a aveia preta mostra melhor adaptação do que a leguminosa, além de apresentar a capacidade de perfilhar.

A elevada produção de MS do nabo forrageiro isolado no primeiro ano (5,53 Mg ha<sup>-1</sup>), em sucessão à soja, é próxima daquela encontrada por Derpsch et al. (1985), no estado do Paraná, em Latossolos ricos em matéria orgânica. Já em 1999 e 2000, quando o nabo foi cultivado em sucessão ao milho, a produção de MS atingiu apenas 65 e 70 % daquela obtida em 1998, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Basso (1999); segundo os resultados, a produção de MS pelo nabo após a soja foi de 5,16 Mg ha<sup>-1</sup> e de apenas 3,40 Mg ha<sup>-1</sup> após o milho, evidenciando que o

desempenho do nabo está diretamente relacionado com o tipo de solo e com o antecedente cultural. Em solos ricos em matéria orgânica ou em sucessão à soja, o potencial de produção de MS parece situar-se no mesmo nível daquele da aveia.

A matéria seca total dos tratamentos envolvendo os consórcios entre aveia e ervilhaca não diferiu da aveia e do nabo em culturas isoladas e, em 1998 e 2000, superou a leguminosa em cultivo isolado. Comparando apenas os consórcios com aveia e ervilhaca, em relação à leguminosa isolada, observa-se que a produção de MS dos consórcios foi superior em 54, 20 e 76 %, nos anos de 1998, 1999 e 2000, respectivamente. Comportamento semelhante foi relatado por Heinrichs et al. (2001) com o consórcio aveia + ervilhaca e por Ranells & Wagger (1997), em condições de clima temperado, com os consórcios centeio (*Secale cereale* L.) + trevo encarnado (*Trifolium incarnatum* L.) e centeio + ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth).

Analisando os consórcios com 15 % AP + 85 % EC e 30 % AP + 70 % EC, avaliados nos três anos, observa-se que, no primeiro ano, eles apresentaram um comportamento distinto em relação aos dois últimos anos quanto à proporção de cada espécie na MS total produzida. Enquanto, em 1998, a aveia contribuiu com aproximadamente 83 % da MS total da mistura, na média de 1999 e 2000, a participação da aveia nesses dois tratamentos diminuiu para apenas 28 e 45 %, respectivamente. Esses valores foram inferiores aos relatados por Heinrichs et al. (2001) que, trabalhando no mesmo solo do presente estudo e com uma proporção de 25 % de aveia + 75 % de ervilhaca, verificaram que a aveia participou com 66 % na MS total do consórcio e por Basso (1999), que mostrou que a aveia contribuiu com 64 % da massa seca total do consórcio com 30 % de aveia + 70 % de ervilhaca.

**Quadro 1. Produção de matéria seca da parte aérea de espécies de plantas de cobertura de solo no outono/inverno, em cultivo isolado e consorciado**

Tratamento	Ano											
	1998				1999				2000			
	AP	EC	NF	Total	AP	EC	NF	Total	AP	EC	NF	Total
	Mg ha <sup>-1</sup>											
100% AP <sup>(1)</sup>	4,60 a <sup>(2)</sup>	-	-	4,60 a	4,21 a	-	-	4,21 a	4,12 a	-	-	4,12 a
100% EC	-	3,30 a	-	3,30 b	-	2,88 a	-	2,88 b	-	2,27 a	-	2,27 b
100% NF	-	-	5,53 a	5,53 a	-	-	3,58 a	3,58 ab	-	-	3,86 a	3,86 a
15% AP + 85% EC	4,58 a	1,04 b	-	5,62 a	0,89 d	2,41 ab	-	3,30 ab	1,63 b	2,11 a	-	3,74 a
30% AP + 70% EC	3,85 a	0,72 b	-	4,57 a	1,00 d	2,36 b	-	3,36 ab	1,79 b	2,01 a	-	3,80 a
45% AP + 55% EC	-	-	-	-	1,72 b	2,03 b	-	3,75 ab	2,55 b	2,07 a	-	4,62 a
15% AP + 85% NF	0,76 b	-	4,46 a	5,22 a	-	-	-	-	-	-	-	-
30% AP + 70% NF	1,32 b	-	4,34 a	5,66 a	1,39 c	-	2,32 a	3,71 ab	1,89 b	-	2,44 a	4,33 a
Pousio <sup>(3)</sup>	-	-	-	0,88 c	-	-	-	0,83 c	-	-	-	0,68 c

<sup>(1)</sup> AP = Aveia preta; EC = Ervilhaca comum; NF = Nabo forrageiro. <sup>(2)</sup> Médias seguidas de mesma letra na coluna, em cada ano, não diferem entre si (Tukey a 5 %). <sup>(3)</sup> A matéria seca do tratamento em pousio refere-se à vegetação espontânea da área.

A supremacia da aveia nos consórcios com a ervilhaca no primeiro ano e as diferenças em relação aos resultados encontrados por Basso (1999) e Heinrichs et al. (2001) podem ser atribuídas à provável maior disponibilidade de N no solo, resultante da cultura antecessora (soja), e à adição de N-uréia em cobertura, o que deve ter beneficiado a gramínea, aumentando a sua competitividade em relação à ervilhaca. O efeito benéfico do N sobre as gramíneas, quando consorciadas a leguminosas, é relatado em diversos trabalhos (Vaughan & Evanylo, 1998; Aita et al., 2000). Além disso, tanto em 1998 como no trabalho de Basso (1999) e Heinrichs et al. (2001), não foi efetuada a correção do poder germinativo (PG) das sementes para o estabelecimento da proporção entre as espécies. Como a aveia apresenta, normalmente, maior PG do que a ervilhaca (95 vs 46 %, em 1998), a proporção da gramínea, em relação à leguminosa, é maior do que aquela programada, quando não se leva em consideração o PG das sementes.

Esses resultados indicam que, além da densidade de semeadura de cada espécie no consórcio entre aveia e ervilhaca, a disponibilidade de N no sistema e a qualidade das sementes utilizadas podem influir na produção de cada espécie no consórcio.

Considerando apenas os dois últimos anos, em que se corrigiu o PG das sementes para 100 % para o plantio das espécies, observa-se que a presença da aveia teve pouca influência sobre a produção da ervilhaca. A redução na quantidade de MS produzida pela leguminosa, quando consorciada à maior proporção de aveia (45 %), foi de 20 %, em 1999, e 9 %, em 2000, em relação à leguminosa isolada. Tais resultados contrastam com aqueles encontrados por Heinrichs et al. (2001) nos quais a aveia, com apenas 10 % na mistura com ervilhaca, ocasionou redução de 32 % na MS da leguminosa. Essas discrepâncias quanto ao comportamento das culturas consorciadas devem-se, provavelmente, às particularidades de cada estudo, envolvendo, principalmente, a qualidade e a quantidade de sementes utilizadas, a adição ou não de N-mineral e a disponibilidade de N no solo.

A menor produção de MS da ervilhaca isolada em 2000, não diferindo significativamente nos tratamentos em que ela foi consorciada com a aveia, pode ser atribuída ao fato de que, no mês de setembro, a quantidade de chuvas foi elevada (242,4 mm), excedendo a média dos últimos 30 anos (153,6 mm). Este fato ocasionou a incidência de doenças fúngicas (constatação visual) e a decomposição precoce, especialmente daquelas folhas em contato com o solo. Nos tratamentos em consórcio, observou-se que a ervilhaca utilizou a aveia como suporte, permanecendo mais ereta, dificultando o acúmulo de umidade na fitomassa e, conseqüentemente, a incidência de doenças. Com base nesses resultados, pode-se inferir que, em anos

com elevada precipitação pluviométrica no estágio de florescimento das espécies, a produção de MS de ervilhaca, no consórcio entre aveia e ervilhaca, poderá ser equivalente ou até mesmo superior àquela da leguminosa isolada.

A produção total de MS dos consórcios entre aveia e nabo forrageiro, no primeiro ano, e do consórcio 30 % AP + 70 % NF, nos dois anos seguintes, não diferiu dessas duas espécies em culturas isoladas e foi superior à ervilhaca em monocultura (Quadro 1). Analisando a produção de MS do consórcio 30 % AP + 70 % NF, verifica-se que, no primeiro ano, a aveia contribuiu com 23 % na MS total, enquanto, em 1999 e 2000, a contribuição da gramínea aumentou para 37 e 44 %, respectivamente. Esses resultados indicam que, provavelmente, em solos com maior disponibilidade de N, como em 1998, o nabo apresenta maior taxa de crescimento que a aveia, competindo pelos nutrientes, pela água e pela radiação solar.

Além de os consórcios proporcionarem uma produção de MS tão elevada quanto à da aveia e o nabo em culturas isoladas, outro resultado a destacar neste estudo diz respeito à superioridade das plantas de cobertura na produção de MS, em relação à vegetação espontânea (pousio). A produção média anual de MS da vegetação espontânea alcançou apenas 19 % daquela das plantas de cobertura, demonstrando a importância da inclusão destas durante o outono/inverno em sistemas de culturas com vistas em proteger o solo contra a erosão.

### **Acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na fitomassa**

Em cultivo isolado, a quantidade de N acumulada pela ervilhaca, nos três anos, foi superior à da aveia e, somente no segundo ano, foi superior à do nabo (Figura 1). O acúmulo de N pela parte aérea da leguminosa atingiu 113, 91 e 63 kg ha<sup>-1</sup>, em 1998, 1999 e 2000, respectivamente, contra 101, 67 e 63 kg ha<sup>-1</sup> no nabo e apenas 59, 57 e 42 kg ha<sup>-1</sup> na aveia. A elevada quantidade de N adicionada pela ervilhaca, especialmente em relação à aveia, deve-se à capacidade que a leguminosa apresenta em fixar N<sub>2</sub> atmosférico.

O nabo acumulou 101 kg ha<sup>-1</sup> de N no primeiro ano (Figura 1a) diminuindo para 67 kg ha<sup>-1</sup> de N em 1999 (Figura 1b) e 63 kg ha<sup>-1</sup> de N em 2000. Essa diferença também foi observada na produção de MS e se deve, provavelmente, à maior disponibilidade de N no solo no primeiro ano em que o nabo sucedeu a soja, enquanto nos dois anos seguintes esta espécie sucedeu o milho. Calegari et al. (1992), trabalhando em solo rico em MO, encontraram um acúmulo de N pelo nabo de 112 kg ha<sup>-1</sup> de N, enquanto Basso (1999), em solo arenoso e com baixa fertilidade, verificou que, na média de dois anos, o nabo forrageiro acumulou apenas 59 kg ha<sup>-1</sup> de N.

A quantidade de N acumulada pelos consórcios entre aveia e ervilhaca não diferiu da leguminosa isolada e, excetuando-se o consórcio 30 % AP + 70 % EC no primeiro ano, foi superior à da gramínea isolada. Considerando a média dos três consórcios

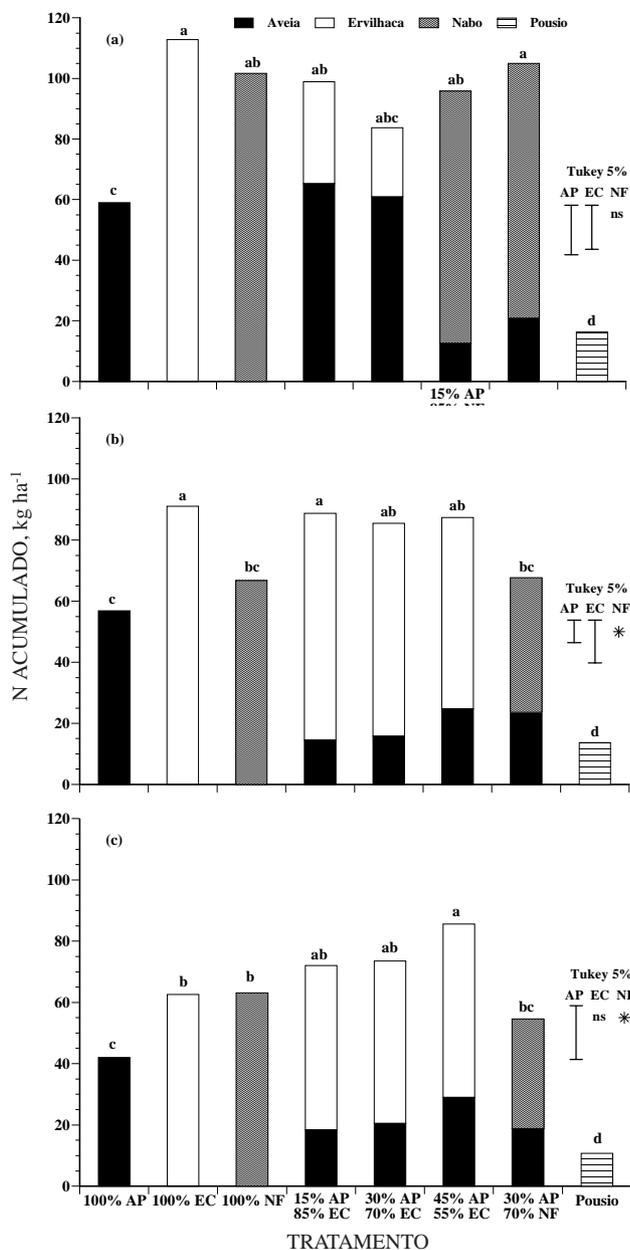
entre aveia e ervilhaca em 1999 e 2000, a quantidade total de N acumulada foi 31 e 35 kg ha<sup>-1</sup> superior à da aveia, respectivamente. Esta característica, aliada à adição de MS, indica o consórcio entre aveia e ervilhaca como uma alternativa promissora para sistemas que necessitam, simultaneamente, de proteção de solo contra a erosão e fornecimento de N à cultura em sucessão.

O segundo e o terceiro ano de experimentação representaram melhor a realidade envolvendo o uso do consórcio de aveia + ervilhaca no outono/inverno, já que não se utilizou adubação nitrogenada. Considerando apenas os resultados desses dois anos, observa-se que, mesmo com 45 % de sementes de aveia, o N contido na fitomassa da ervilhaca foi equivalente a 72 e 90 % do total de N acumulado pela ervilhaca em cultivo isolado em 1999 e 2000, respectivamente (Figura 1b e 1c). O N acumulado pela leguminosa nos tratamentos com 15 e 30 % de aveia não diferiu entre si, atingindo 79 % do N acumulado pela ervilhaca isolada em 1999 e 85 % em 2000. Esses valores evidenciam o potencial da ervilhaca em produzir MS e fixar N<sub>2</sub>, enriquecendo a fitomassa em N, a despeito do seu cultivo em consórcio com aveia.

As diferenças nas quantidades de MS e de N da aveia e ervilhaca, quando consorciadas em diferentes proporções, devem condicionar a dinâmica de decomposição e liberação do N após o manejo das espécies. Assim, se a necessidade maior for a proteção do solo contra a erosão por meio da persistência dos resíduos culturais, deve-se aumentar a proporção de sementes de aveia no consórcio. Por outro lado, se a prioridade for melhorar o balanço de N no solo, deve-se aumentar a quantidade de sementes de ervilhaca.

Nos três anos, o total de N acumulado nos consórcios entre aveia e nabo forrageiro não diferiu do nabo isolado, superando a aveia isolada somente em 1998. Comparando o tratamento com 30 % AP + 70 % NF, presente nos três anos, observa-se que, em 1998, 80 % do N acumulado pelo consórcio estava presente na fitomassa do nabo. A participação do crucífera no N total, desse mesmo consórcio, diminuiu para 65 %, em 1999, e para 66 %, em 2000. Tais resultados mostraram ser o nabo mais eficiente do que a aveia quanto à capacidade de competir pelo N do solo, já que, em 1998, as espécies foram instaladas em sucessão à soja e com a aplicação de N mineral (Figura 1a). Com o cultivo consorciado dessas duas espécies em sucessão ao milho e sem a aplicação de N, como em 1999 e 2000, o inverso parece ser verdadeiro (Figura 1b e 1c).

Comparando o N acumulado pela aveia isolada e pela vegetação espontânea nos três anos, observa-se que as plantas invasoras acumularam, em média, 26 % do N acumulado pela gramínea. Tais resultados confirmam os encontrados por Heinrichs et al. (2001), demonstrando que, além de contribuir



**Figura 1. Acúmulo de nitrogênio na matéria seca da parte aérea de plantas de cobertura, em cultivo isolado e consorciado, em 1998 (a), 1999 (b) e 2000 (c). Médias das quantidades totais de N seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. As barras verticais correspondem à diferença mínima significativa (Tukey 5 %) para o N acumulado por cada espécie. ns = não-significativo. \* = significativo a 5 %. AP = aveia preta; EC = ervilhaca comum; NF = nabo forrageiro.**

com a adição de fitomassa e carbono ao solo, a aveia pode contribuir para a diminuição das perdas de N por lixiviação de nitrato no perfil do solo durante o outono/inverno, mantendo o nutriente no tecido vegetal.

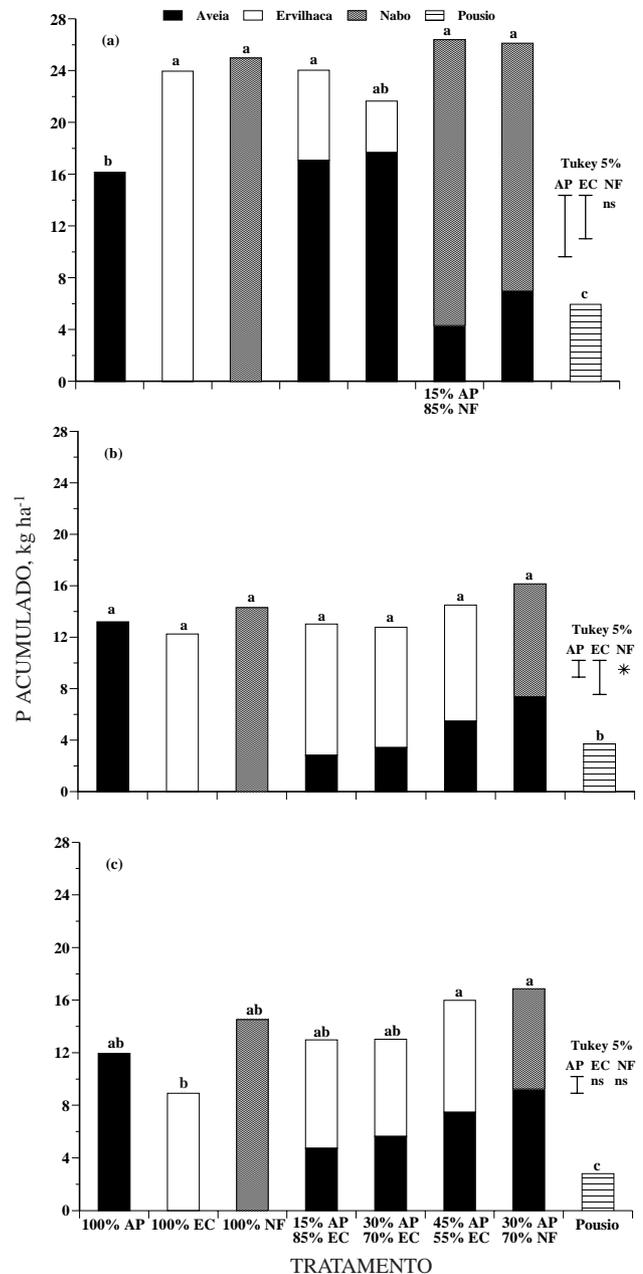
Os resultados relativos ao acúmulo de N pelas plantas de cobertura evidenciam a superioridade da ervilhaca em relação à aveia quando em culturas isoladas e, quando essas duas espécies são consorciadas, é possível combinar a capacidade da aveia em absorver o N disponível do solo à da ervilhaca em fixar o  $N_2$  atmosférico, resultando num acúmulo de N na fitomassa equivalente ao da leguminosa isolada. Embora não tenha sido avaliada a disponibilidade de N no solo durante o experimento, parece evidente que, em solos arenosos, o potencial de produção de fitomassa e acúmulo de N pelo nabo serão limitados.

As quantidades de P acumuladas pelas culturas isoladas diferiram entre si somente no primeiro ano, quando a ervilhaca e o nabo superaram a aveia (Figura 2). Não houve diferenças significativas na quantidade de P acumulada pelos tratamentos envolvendo consórcio de espécies e, apenas em 1998, estes acumularam mais P do que a aveia isolada.

Um dado a ser ressaltado é que a ervilhaca, embora tenha produzido menor quantidade de MS do que a aveia, acumulou quantidades de fósforo iguais ou superiores às da gramínea. Tais resultados confirmam aqueles obtidos por Da Ros (1993) e se devem à maior concentração deste elemento no tecido da leguminosa. O nabo forrageiro também se destacou quanto à quantidade de P acumulado, atingindo, na média dos três anos,  $4,1 \text{ kg Mg}^{-1}$  de P na MS produzida, quando em cultura pura. Essa quantidade é 23 % superior àquela encontrada por Calegari et al. (1992). Aparentemente, a consorciação com o nabo favoreceu a absorção de P pela aveia, já que o acúmulo de P no consórcio, com apenas 30 % de aveia, foi praticamente a metade daquele observado na aveia isolada.

Quanto ao acúmulo de K, observa-se que os tratamentos constituídos por consórcios não diferiram entre si e nem do nabo isolado, o qual acumulou, na média dos três anos,  $99 \text{ kg ha}^{-1}$  de K, superando a aveia e a ervilhaca em 23 e 48 %, respectivamente (Figura 3). A concentração de K pelo nabo foi de  $23 \text{ kg Mg}^{-1}$  de MS produzida, enquanto Calegari et al. (1992) observaram acúmulo de  $36 \text{ kg Mg}^{-1}$  de MS.

Embora a aveia em 1998, 1999 e 2000 tenha superado a produção de MS da ervilhaca em 39, 46 e 81 %, em 1998, 1999 e 2000, respectivamente (Quadro 1), a quantidade de K acumulado pela gramínea foi maior do que a da leguminosa em apenas 19 %, em 1999, e 53 %, em 2000, e não diferiu no primeiro ano. Tais resultados corroboram os de Da Ros (1993) e demonstram a habilidade da leguminosa na ciclagem de K disponível no solo.



**Figura 2. Acúmulo de fósforo na matéria seca da parte aérea de plantas de cobertura, em cultivo isolado e consorciado, em 1998 (a), 1999 (b) e 2000 (c). Médias das quantidades totais de P seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. As barras verticais correspondem à diferença mínima significativa (Tukey 5%) para o P acumulado por espécie. ns = não-significativo. \* = significativo a 5%. AP = aveia preta; EC = ervilhaca comum; NF = nabo forrageiro.**

### Relação C/N da fitomassa

Além de proteger o solo e de adicionar nitrogênio, o consórcio entre espécies de plantas de cobertura

de solo deve proporcionar uma produção de MS cuja relação C/N seja intermediária àquela das espécies

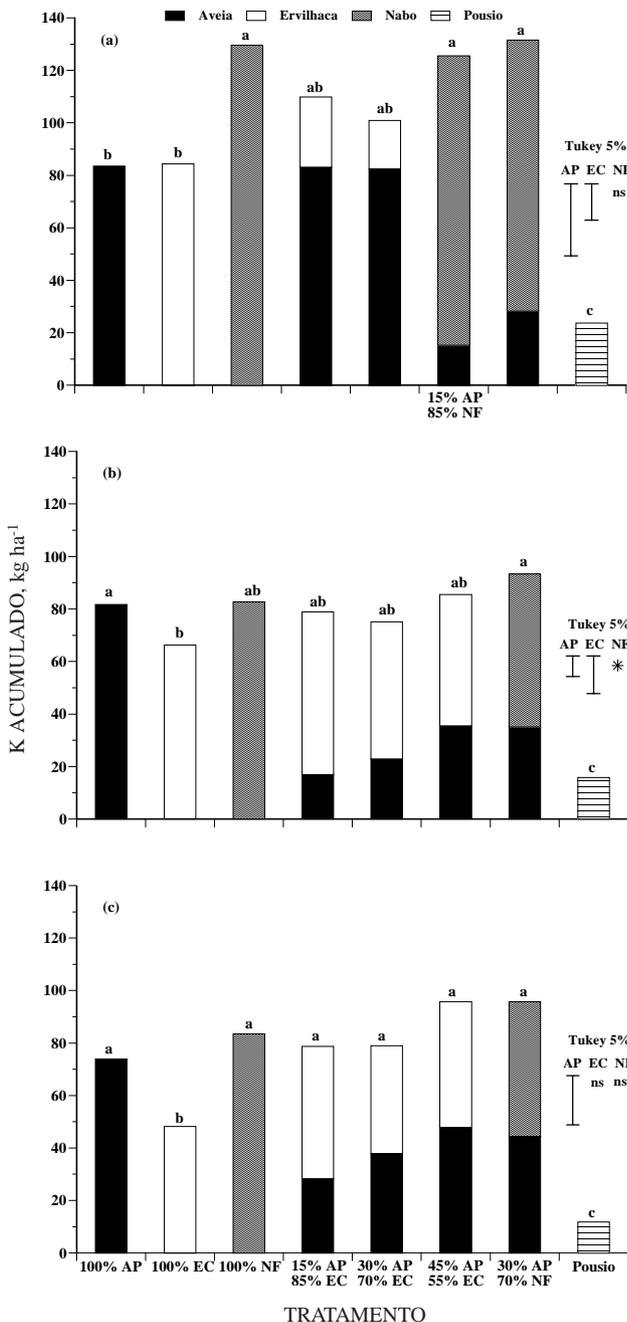
em culturas isoladas. Com isso, obtém-se taxa de decomposição de resíduos culturais menor que com leguminosas ou com o nabo, proporcionando cobertura de solo por mais tempo e sincronia entre fornecimento e demanda de N pelas culturas comerciais.

A relação C/N foi de 14,1, na ervilhaca, e de 36,5, na aveia, enquanto, no nabo forrageiro e nos consórcios, a relação C/N situou-se em valor intermediário ao da aveia e ervilhaca isoladas (Quadro 2). Tais resultados estão de acordo com aqueles obtidos em diversos trabalhos realizados em diferentes condições edafoclimáticas (Da Ros, 1993; Ranells & Wagger, 1997; Basso, 1999; Heinrichs et al., 2001).

Embora não tenha havido diferença significativa, observou-se que o aumento na proporção de aveia nos consórcios com ervilhaca provocou uma tendência de aumento dos valores da relação C/N da fitomassa. Quando a quantidade de sementes de aveia aumentou de 15 para 45 %, a relação C/N aumentou de 16,2 a 18,6, em 1999, e de 22,6 a 23,6, em 2000. A influência da aveia na relação C/N do consórcio com ervilhaca foi demonstrada por Heinrichs et al. (2001), tendo a C/N aumentado de 18,2 com 10 % de aveia para 27,2, quando a proporção de aveia aumentou para 75 %.

A relação C/N tem sido o característica mais usada em modelos para prever a disponibilidade de N no solo durante a decomposição de materiais orgânicos (Nicolardot et al., 2001). Para Allison (1966), materiais com valores de C/N entre 25 e 30 apresentam equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização. Usando esses valores como base, pode-se inferir que, nos tratamentos com ervilhaca e nabo, a mineralização deverá superar a imobilização, resultando em aumento da disponibilidade de N no solo durante a decomposição dos resíduos culturais.

Em 1999 e 2000, os consórcios com ervilhaca + aveia, até à proporção de 30 % de aveia, apresentaram valores de relação C/N inferiores aos da aveia isolada (Quadro 2). Tais resultados se devem ao aumento na concentração de N na aveia (dados não apresentados), uma vez que, quando consorciada, a população de plantas foi menor do que em cultura isolada, daí a menor competição entre plantas pelo N disponível no solo. Além disso, a senescência precoce de nódulos, a decomposição de tecido vegetal, especialmente de folhas mais velhas, e a excreção de exsudatos radiculares ricos em N por parte da leguminosa podem favorecer o acúmulo de N por parte da gramínea (Ta & Faris, 1987). Essa diminuição da relação C/N da aveia com o aumento na proporção de ervilhaca deve diminuir o potencial de imobilização líquida de N durante a decomposição da palha, processo freqüentemente observado com resíduos culturais de gramíneas.



**Figura 3. Acúmulo de potássio na matéria seca da parte aérea de plantas de cobertura, em cultivo isolado e consorciado, em 1998 (a), 1999 (b) e 2000 (c). Médias das quantidades totais de K seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. As barras verticais correspondem à diferença mínima significativa (Tukey 5 %) para o K acumulado por espécie. ns = não-significativo. \* = significativo a 5 %. AP = aveia preta; EC = ervilhaca comum; NF = nabo forrageiro.**

**Quadro 2. Relação C/N da matéria seca da parte aérea de espécies de plantas de cobertura, em cultivo isolado e consorciado**

Tratamento	Ano											
	1998				1999				2000			
	AP	EC	NF	Média	AP	EC	NF	Média	AP	EC	NF	Média
100% AP <sup>(1)</sup>	34,2 a <sup>(2)</sup>	-	-	34,2 a	32,5 a	-	-	32,5 a	42,9 a	-	-	42,9 a
100% EC	-	12,8 a	-	12,8 c	-	13,7 a	-	13,7 e	-	15,8 a	-	15,8 e
100% NF	-	-	22,4 a	22,4 b	-	-	22,5 a	22,5 c	-	-	25,5 a	25,5 cd
15% AP + 85% EC	31,4 ab	13,3 a	-	25,2 b	26,5 b	14,1 a	-	16,2 de	37,7 b	17,0 a	-	22,6 d
30% AP + 70% EC	27,7 bc	13,7 a	-	23,9 b	26,9 b	14,6 a	-	17,0 d	38,3 b	16,5 a	-	22,6 d
45% AP + 55% EC	-	-	-	-	30,2 ab	14,1 a	-	18,6 d	39,2 ab	16,1 a	-	23,6 cd
15% AP + 85% NF	26,3 c	-	22,7 a	23,2 b	-	-	-	-	-	-	-	-
30% AP + 70% NF	27,1 bc	-	21,4 a	22,3 b	25,7 b	-	22,0 a	23,4 c	43,3 a	-	25,6 a	31,7 b
Pousio <sup>(3)</sup>	-	-	-	20,5 b	-	-	-	26,8 b	-	-	-	27,6 bc

<sup>(1)</sup> AP = Aveia preta; EC = Ervilhaca comum; NF = Nabo forrageiro. <sup>(2)</sup> Médias seguidas de mesma letra na coluna, em cada ano, não diferem entre si (Tukey a 5 %). <sup>(3)</sup> A relação C/N do tratamento em pousio refere-se à vegetação espontânea da área.

## CONCLUSÕES

1. O consórcio de aveia preta + ervilhaca, com a proporção da gramínea variando de 15 a 45 %, proporcionou produção de MS equivalente àquela da aveia isolada e superior à da ervilhaca isolada.

2. O consórcio de aveia preta + ervilhaca agregou igual quantidade de N às plantas do que a leguminosa isolada, mas foi superior à da gramínea.

3. Os cultivos consorciados de aveia + ervilhaca e aveia + nabo proporcionaram relação C/N da fitomassa intermediária à das culturas isoladas.

4. A aveia preta, a ervilhaca e o nabo forrageiro proporcionaram maior produção de MS e acumularam mais N, P e K na fitomassa do que a vegetação espontânea do sistema pousio invernal.

## LITERATURA CITADA

- AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N. & DA ROS, C.O.C. Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. R. Bras. Ci. Solo, 25:157-1165, 2001.
- ALLISON, F.E. The fate of nitrogen applied to soils. Adv. Agron., 18:219-258, 1966.
- 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. 91p. (Tese de Mestrado)
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; COSTA, M.B.C.; MIYASAKA, S. & AMADO, T.J.C. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M.B.C., ed. Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro, Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 1992. p.1-55.
- DA ROS, 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)
- 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 de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999. 412p.
- HEINRICH, R.; AITA, C.; AMADO, T.J.C. & FANCELLI, A.L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. R. Bras. Ci. Solo, 25:331-340, 2001.
- NICOLARDOT, B.; RECOUS, S. & MARY, B. Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: A simple dynamic model based on the C/N ratio of the residues. Plant Soil, 228:83-103, 2001.
- RANELLS, N.N. & WAGGER, M.G. Nitrogen-15 recovery and release by rye and crimson clover cover crops. Agron. J., 61:943-948, 1997.
- 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.; GIACOMINI, S.J.; VENDRÚSCULO, E.R.O.; CUBILLA, M.; CHIAPINOTTO, I.C.; HÜBNER, A.P.; QUAINI, D. & FRIES, M.R. Leguminosas de verão como culturas intercalares ao milho e sua influência sobre a associação de aveia (*Avena strigosa* Schieb) + ervilhaca (*Vicia sativa* L.). In: CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 17., 2000, Mar del Plata, Anais. Mar del Plata, 2000. CD-ROM

- TA, T.C. & FARRIS, M.A. Species variation in the fixation and transfer of N from legumes to associated grasses. *Plant Soil*, 98:265-274, 1987.
- 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)
- TRENBARTH, B.R. Biomass production of mixtures. *Adv. Agron.*, 26:177-210, 1974.
- VAUGHAN, J.D. & EVANYLO, G.K. Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. *Agron. J.*, 90:536-544, 1998.