



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Kappes, Claudinei; Arf, Orivaldo; da Costa Andrade, João Antonio
COBERTURAS VEGETAIS, MANEJO DO SOLO, DOSES DE NITROGÊNIO E SEUS EFEITOS NA
NUTRIÇÃO MINERAL E NOS ATRIBUTOS AGRONÔMICOS DO MILHO
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 37, núm. 5, 2013, pp. 1322-1333

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180228849021>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

COBERTURAS VEGETAIS, MANEJO DO SOLO, DOSES DE NITROGÊNIO E SEUS EFEITOS NA NUTRIÇÃO MINERAL E NOS ATRIBUTOS AGRONÔMICOS DO MILHO⁽¹⁾

Claudinei Kappes⁽²⁾, Orivaldo Arf⁽³⁾ & João Antonio da Costa Andrade⁽⁴⁾

RESUMO

Pesquisas são desenvolvidas buscando identificar a melhor dose de N para o milho nos mais diferenciados sistemas de manejo do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de coberturas vegetais, os sistemas de manejo do solo e as doses de N em cobertura sobre a produção de matéria seca, nutrição mineral, quebramento e altura de planta e inserção de espiga do milho. Os experimentos foram conduzidos no município de Selvíria, MS, durante os anos agrícolas 2009/2010 e 2010/2011, em Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso ($20^{\circ} 20' S$ e $51^{\circ} 24' W$, com altitude de 340 m). Foram estabelecidos 36 tratamentos com quatro repetições, em blocos casualizados, resultantes da combinação entre coberturas vegetais (milheto, *Crotalaria juncea* e milheto + *Crotalaria juncea*), manejo do solo (preparo com escarificador + grade “leve”, grade “pesada” + grade “leve” e sistema plantio direto) e doses de N em cobertura (0, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ - utilizando-se ureia como fonte). O híbrido de milho utilizado foi o DKB 350 YG® e o N, aplicado no estádio V₅ (quinta folha expandida). O cultivo de crotalária e de milheto + crotalária, como antecessoras, resultou em maior massa de matéria seca da parte aérea, teor de P foliar e quantidade de N, P e K acumulada. O sistema plantio direto proporcionou maior população inicial e final de plantas e matéria seca de parte aérea e menor altura de planta e de espiga. A aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura proporcionou maior teor de P foliar, teores de N e de P na planta inteira, matéria seca de parte aérea, quantidade de N, P e K acumulada, altura de planta e de inserção de espiga do milho.

Termos de indexação: *Zea mays*, milheto, crotalária, adubação nitrogenada, sistema plantio direto.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada à Universidade Estadual Paulista - UNESP. Recebido para publicação em 19 de junho de 2012 e aprovado em 11 de julho de 2013.

⁽²⁾ Pesquisador, Fundação MT, Centro de Pesquisa Dario Minoru Hiromoto. Av. Antônio Teixeira dos Santos, 1559, Parque Universitário. Caixa Postal 79. CEP 78750-000 Rondonópolis (MT), Brasil. E-mail: claudineikappes@fundacaomt.com.br

⁽³⁾ Professor Titular, Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-Economia, UNESP. Avenida Brasil, 56, Centro. CEP 15385-000 Ilha Solteira (SP), Brasil. E-mail: arf@agr.feis.unesp.br

⁽⁴⁾ Professor, Departamento de Biologia e Zootecnia, UNESP. E-mail: jandrade@bio.feis.unesp.br

SUMMARY: EFFECTS OF COVER CROPS, SOIL MANAGEMENT AND NITROGEN RATES ON NUTRITIONAL AND AGRONOMIC ATTRIBUTES OF MAIZE

*Research has investigated the best nitrogen rate for maize under the most diverse types of soil management. The aim of this study was to evaluate the influence of cover crops, soil management and topdressed N rates on the dry matter production, nutritional status, plant lodging, plant height and first-ear insertion of maize. Field experiments were carried out in Selvíria, Mato Grosso do Sul State, Brazil, in the growing seasons of 2009/2010 and 2010/2011, on a clayey Rhodic Haplustox (20° 20' S and 51° 24' W, at 340 m asl). Thirty-six treatments were established with four replications, in a randomized blocks design, to test combinations of cover crops (millet, *Crotalaria juncea* and millet + *Crotalaria juncea*), soil management (tillage with chisel plow + lightweight disking, heavy disking + lightweight disking, and no-tillage system) and N rates (0, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ - urea as source). The maize hybrid DKB 350 YG® was used and topdressing N applied at stage V5 (fifth expanded leaf). Previously grown sunn hemp and millet + sunn hemp resulted in a higher shoot dry matter, P leaf content and total N, P and K uptake. In the no-tillage system, the initial and final population and shoot dry were highest, and first-ear insertion and plant height lower. The application of 120 kg ha⁻¹ topdressed N increased the P leaf content, N and P in the entire plant, shoot dry matter, total N, P and K uptake, plant height, and the first-ear insertion of maize.*

Index terms: Zea mays, millet, sunn hemp, nitrogen fertilization, no-tillage system.

INTRODUÇÃO

Além do seu efeito sobre a produtividade do milho, o N interfere em diversas outras características da planta relacionadas ao desenvolvimento, as quais, direta ou indiretamente, influenciam a produtividade da cultura. Büll (1993) mencionou a influência da adubação nitrogenada no aumento do índice de área foliar, da massa de 1.000 grãos, da altura de planta, da produção de biomassa e do índice de colheita na cultura do milho e ressaltou que a aplicação de N pode também influenciar indiretamente a nutrição da planta, havendo maior absorção de outros nutrientes em razão da exploração de maior volume de solo pelo aumento do sistema radicular. Segundo o mesmo pesquisador, quando se manteve adequado o fornecimento de nutrientes para o milho, a produção diária de matéria seca foi 245 kg ha⁻¹, enquanto em condições de extrema deficiência de N, a produção diária foi 82 kg ha⁻¹, evidenciando a importância do correto fornecimento de N para a cultura.

No caso do milho, o aproveitamento raramente ultrapassa 50 % do N aplicado como fertilizante mineral (Lara Cabezas et al., 2004), por causa de perdas por lixiviação, escorrimento superficial, desnitrificação, volatilização da amônia e imobilização na biomassa microbiana (Alva et al., 2006). As práticas de manejo do solo, as condições climáticas (temperatura, umidade, vento), as características físico-químicas do solo, como o pH, o poder-tampão, a textura, a mineralogia da fração argila, a umidade, a temperatura, a capacidade de troca catiônica, o teor de resíduos orgânicos (Weber & Mielniczuk, 2009) e a população microbiana heterotrófica (Aita & Giacomini, 2007), são responsáveis pela dinâmica do N no sistema

solo-planta. Pesquisas comparativas entre sistemas de manejo do solo (plantio direto, cultivo mínimo e sistema convencional) têm evidenciado que a diferença na dinâmica do N entre esses sistemas é capaz de refletir na recomendação da adubação nitrogenada no milho (Lara Cabezas et al., 2004; Figueiredo et al., 2005; Santos et al., 2010a).

A maior fração de N no solo está na forma orgânica, presente na matéria orgânica (MO) em diferentes moléculas e variados graus de recalcitrância, ou como parte de organismos vivos. Geralmente menos de 5 % do N total está em formas inorgânicas como íon amônio (NH_4^+) e íon nitrato (NO_3^-), que são as formas preferenciais de absorção de N pelas plantas. A disponibilidade dessas formas de N no solo é controlada principalmente pela mineralização e imobilização de N, dois processos opostos e simultâneos que correm durante a decomposição de materiais orgânicos e da MO do solo pela população microbiana heterotrófica (Aita & Giacomini, 2007).

O N é um dos, senão o, elemento mais influenciado pelo sistema de plantio direto (SPD), pois com a adição constante e manutenção da palhada sobre a superfície do solo, processos como imobilização, mineralização e lixiviação são alterados. No SPD, a decomposição dos resíduos orgânicos é mais lenta, em razão de esses estarem sobre a superfície, havendo manutenção de maior umidade no solo e consequente maior atividade dos microrganismos na camada superficial, o que vai resultar em alterações nos processos de disponibilização e também de perda de N (Lara Cabezas et al., 2000). Essa menor taxa de decomposição dos resíduos vegetais no SPD pode favorecer o sincronismo entre a taxa de liberação de N para o solo e a taxa de absorção desse nutriente pela planta. Quanto mais

harmoniosa essa relação, mais eficiente será o aproveitamento do N dos resíduos vegetais (Castoldi et al., 2012).

Com menor relação C/N comparativamente às poáceas e à sua capacidade de fixação simbiótica do N₂, as fabáceas aumentam a disponibilidade de N no solo, a absorção de N pela planta e a produtividade de milho (Ohland et al., 2005), podendo contribuir na redução de aplicação de N mineral. As poáceas contribuem na manutenção de níveis maiores de MO no solo, comparadas às fabáceas, em razão da sua alta relação C/N e do alto teor de lignina na sua composição, formando húmus de maior estabilidade; porém, podem apresentar problemas em relação à disponibilidade de N.

Há também a opção do consórcio entre plantas de cobertura, em que é possível controlar a velocidade de decomposição e liberação de N dos resíduos culturais, já que a fitomassa obtida apresenta relação C/N intermediária àquela das culturas “solteiras” (Aita et al., 2004). Diversas pesquisas relatam o efeito positivo de coberturas vegetais sobre a produtividade de milho (Carvalho et al., 2007; Sousa Neto et al., 2008) e vários pesquisadores mencionam a contribuição do N remanescente dos resíduos culturais (Silva et al., 2006b; Strieder et al., 2006; Kappes, 2011).

A utilização de coberturas vegetais, associada a um sistema que possibilite melhorar as condições do solo e o manejo do N, pode ser importante para o aumento da produtividade de milho. Diante do exposto, propôs-se este estudo com o objetivo de avaliar a influência de coberturas vegetais, sistemas de manejo do solo e doses de N em cobertura sobre a produção de matéria seca, nutrição mineral, quebramento de planta, altura de planta e inserção de espiga do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área experimental

A pesquisa foi conduzida no município de Selvíria, MS, em área experimental situada a 20° 20' S e 51° 24' W, com altitude de 340 m. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Aw, com precipitação pluvial média anual de 1.330 mm, temperatura do ar média anual de 25 °C e umidade relativa do ar média anual de 66 % (Centurion, 1982). Os experimentos foram conduzidos em condições de campo durante os anos agrícolas 2009/2010 e 2010/2011, em Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa (Embrapa, 2006).

Tratamentos e delineamento experimental

Foram estabelecidos 36 tratamentos com quatro repetições, dispostos em delineamento de blocos ao acaso, os quais resultaram da combinação dos fatores: cobertura vegetal, manejo do solo e doses de N em

cobertura. As coberturas e os sistemas de manejo do solo foram dispostos em faixas e as doses de N em cobertura foram locadas de maneira casualizadas dentro das subparcelas definidas pela intersecção das próprias faixas. Como coberturas, foram utilizadas milheto (*Pennisetum glaucum*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e milheto + crotalária. O manejo do solo consistiu em preparo com escarificador + grade “leve” (E+GL), grade “pesada” + grade “leve” (GP+GL) e SPD. O manejo com E+GL foi realizado com escarificador de sete hastes na profundidade de trabalho em torno de 0,35 m e com grade 32 x 20”, à profundidade aproximada de 0,1 m. O manejo com GP+GL foi realizado com grade 14 x 32”, na profundidade em torno de 0,2 m e com grade 32 x 20” na profundidade de 0,1 m. No SPD, o manejo ficou restrito à desintegração mecânica das coberturas. As doses de N foram 0, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹, utilizando-se como fonte a ureia. As parcelas foram constituídas por seis linhas de milho de 5,0 m de comprimento, espaçadas de 0,9 m entre si.

Condução do experimento

A área experimental teve os sistemas de manejo do solo instalados no ano agrícola 1997/1998. No período de verão de 2008/2009, a área foi cultivada com milho, permanecendo em pousio no inverno seguinte. Antes da instalação dos experimentos, foram realizadas amostragens do solo na camada de 0,0-0,2 m para análise química (Quadro 1). As plantas de cobertura foram semeadas nos dias 27/08/2009 e 04/10/2010 com semeadora específica para o SPD e mecanismo de distribuição de sementes com fluxo contínuo. O milheto e a crotalária foram semeados em linhas espaçadas de 0,17 e 0,34 m, com quantidades de sementes certificadas de 15 e 50 kg ha⁻¹, respectivamente. No cultivo consorciado (milheto + crotalária), manteve-se a mesma quantidade de sementes utilizada no cultivo exclusivo para ambas as coberturas, intercalando-se as linhas de milheto e de crotalária no espaçamento de 0,17 m. Não foram realizadas adubações e tratamentos fitossanitários nas coberturas. O fornecimento de água foi efetuado com sistema de irrigação por aspersão do tipo “canhão” hidráulico autopropelido. No ano agrícola 2009/2010, as coberturas foram dessecadas com Glifosato (1.440 g ha⁻¹) e 2,4-D sal dimetilamina (800 g ha⁻¹), no período de florescimento. No ano agrícola 2010/2011, as coberturas foram dessecadas com Glifosato (1.920 g ha⁻¹) e 2,4-D sal dimetilamina (400 g ha⁻¹), no florescimento. Posteriormente, as coberturas foram manejadas com desintegrador mecânico horizontal (Triton), com altura de corte de 15 cm.

O solo foi manejado logo após as coberturas vegetais terem sido manejadas mecanicamente. O híbrido utilizado foi o DKB 350 YG®, tipo triplo e ciclo precoce (860 graus dia). Em ambos os anos de cultivo, as sementes foram tratadas com Imidacloprido e Tiodicarbe nas doses de 50 e 150 g para 60.000 sementes, respectivamente. As semeaduras foram

Quadro 1. Atributos químicos do solo da área experimental na camada de 0,0-0,2 m nos três sistemas de manejo do solo estudados

| Manejo do solo ⁽¹⁾ | pH (CaCl ₂) | P | K | Ca | Mg | H+Al | CTC | V | MO |
|-------------------------------|-------------------------|---------------------|-----|------------------------------------|----|------|-----|----|--------------------|
| | | mg dm ⁻³ | | mmol _c dm ⁻³ | | | | % | g dm ⁻³ |
| Ano agrícola 2009/2010 | | | | | | | | | |
| E+GL | 5,5 | 16 | 3,5 | 30 | 17 | 27 | 78 | 65 | 17 |
| GP+GL | 5,6 | 12 | 3,1 | 31 | 18 | 30 | 82 | 64 | 19 |
| SPD | 5,5 | 29 | 2,7 | 31 | 18 | 32 | 84 | 61 | 17 |
| Ano agrícola 2010/2011 | | | | | | | | | |
| E+GL | 5,8 | 28 | 1,8 | 36 | 25 | 20 | 83 | 76 | 20 |
| GP+GL | 5,8 | 31 | 1,4 | 32 | 21 | 20 | 74 | 73 | 20 |
| SPD | 5,4 | 26 | 1,7 | 24 | 16 | 25 | 67 | 63 | 18 |

⁽¹⁾ E+GL: preparo com escarificador + grade “leve”; GP+GL: preparo com grade “pesada” + grade “leve”; e SPD: sistema plantio direto. Extratores: P, K, Ca e Mg (resina); H+Al (tampão SMP); MO (fotométrico); CTC e V: cálculo

realizadas nos dias 16/11/2009 e 11/12/2010, e a emergência das plântulas ocorreu aos seis dias após a semeadura (DAS) nos três sistemas de manejo do solo, estabelecendo-se população inicial de 54.490 e 54.430 plantas ha⁻¹, respectivamente para os anos agrícolas 2009/2010 e 2010/2011. Utilizou-se semeadora específica para o SPD, equipada com mecanismo sulcador de hastes (tipo “botinha”) e sistema de distribuição de sementes pneumático. Na adubação mineral de semeadura, foram aplicados 300 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16.

O N foi aplicado quando as plantas apresentavam-se no estádio V₅ (Ritchie et al., 2003). As aplicações foram realizadas sobre a superfície do solo (sem incorporação), aproximadamente 5,0 cm ao lado das fileiras. No momento das aplicações do N, o solo apresentava-se com boas condições de umidade.

Variáveis analisadas

No momento da aplicação do N em cobertura, avaliou-se a população inicial de plantas (PIP). No florescimento pleno (Ritchie et al., 2003), constatado aos 56 DAS em ambos os anos de cultivo, foram coletados os terços centrais dos limbos de 10 folhas situadas opostamente e abaixo da espiga principal, para determinação dos teores de P e K (Malavolta et al., 1997). Simultaneamente, determinou-se a produção de matéria seca de parte aérea. Foram coletadas cinco plantas representativas na área útil de cada parcela, sendo posteriormente fragmentadas em desintegrador forrageiro e submetidas à secagem em estufa com renovação e circulação forçada de ar à temperatura de 60±5 °C, até atingir massa constante. Os resultados foram expressos em g/planta (MS_{planta}) e em kg ha⁻¹ de matéria seca de parte aérea, pela extração dos resultados, com base na população final de plantas (PFP) (MS_{acumulada}). No ano agrícola 2010/2011, determinou-se o teor de N, P e K na planta inteira, coletando-se uma subamostra de aproximadamente 30 g do material de cada parcela.

Os resultados foram expressos em g kg⁻¹ de N, P e K e em kg ha⁻¹ de N, P e K, pela extração dos resultados, com base na produção de matéria seca de parte aérea.

Quando a cultura encontrava-se no estádio R₃ (Ritchie et al., 2003), foram mensuradas, em cinco plantas por parcela, altura de planta (AP) e espiga (AIE). A colheita foi realizada nos dias 08/04/2010 e 21/04/2011, ocasião em que se avaliou a PFP e o quebramento de planta (percentual de colmos quebrados abaixo da inserção da espiga principal, em relação à PFP).

Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos ao teste F, comparando-se as médias de cobertura vegetal e sistema de manejo do solo pelo teste de Tukey a 5 %. As médias de dose de N foram submetidas à análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A população inicial de plantas (PIP) foi influenciada, em ambos os anos agrícolas, apenas pelo manejo do solo, em que maiores valores foram obtidos no SPD, comparativamente aos sistemas de revolvimento do solo (Quadro 2). Neste estudo, é provável que as maiores PIP no SPD estejam relacionadas com a condição do solo no momento da semeadura, como, por exemplo, maior densidade do solo e resistência à penetração, permitindo maior atrito entre a roda motriz responsável pela movimentação do sistema de distribuição de sementes e o solo, contribuindo para melhor funcionamento do sistema de distribuição de sementes. Outra hipótese relacionada às maiores PIP no SPD pode estar relacionada às melhores condições de germinação e emergência proporcionada pelo sistema. No SPD, os

resíduos culturais podem ter promovido maior proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva, durante o período que antecede a emergência das plântulas, evitando a formação de crosta superficial. Além disso, a cobertura vegetal pode ter promovido menor perda de água e menores variações de temperatura do solo, favorecendo o estabelecimento da cultura.

O teor de P foliar no florescimento do milho foi influenciado, isoladamente, pela cobertura vegetal, manejo do solo e dose de N no ano agrícola 2009/2010 (Quadro 2). O cultivo de crotalária e de milheto + crotalária, como antecessores, propiciou maior teor de P foliar, o que pode ser justificado pela maior quantidade de P acumulada por essas culturas e, consequentemente, maior disponibilidade do nutriente. O manejo do solo com E+GL e GP+GL propiciou maior teor de P foliar, possivelmente relacionado à maior velocidade de decomposição e disponibilidade do nutriente à cultura. O incremento na dose de N resultou em aumento linear no teor de P foliar. O maior teor de P na dose de 120 kg ha⁻¹ de N representou incremento de 20 %, em relação à ausência da aplicação do nutriente em cobertura. Apesar de na

ausência da aplicação de N em cobertura o teor de P foliar ter sido menor, comparativamente aos tratamentos que receberam o nutriente, o valor obtido foi considerado acima da faixa adequada para o milho, que foi entre 1,8 e 3,0 g kg⁻¹ (Malavolta et al., 1997). Esse resultado pode ter sido em razão do P solubilizado do fertilizante e dos teores adequados do nutriente no solo da área experimental, nos três sistemas de manejo do solo. Os resultados corroboram com os obtidos por Casagrande & Fornasieri Filho (2002). Esses pesquisadores, avaliando as doses 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de N, constataram que, na ausência desse nutriente, o teor de P foliar no florescimento do milho foi menor, comparativamente aos tratamentos que o receberam, porém dentro da faixa adequada.

No ano agrícola 2010/2011, o teor de P foliar no florescimento do milho foi influenciado, isoladamente, pela cobertura vegetal e dose de N, verificando-se interação entre manejo do solo e dose de N (Quadro 2). A crotalária e o milheto + crotalária propiciaram maior teor de P foliar, resposta atribuída novamente à maior quantidade de P acumulada por essas culturas. Apenas quando não se aplicou N em cobertura obteve-

Quadro 2. Valores médios e resumo da análise de variância de população inicial de plantas (PIP), do teor de P e de K foliar no florescimento e da matéria seca de parte aérea por planta (MS_{planta}) e acumulada (MS_{acumulado}) pelo milho, em razão de coberturas vegetais, sistemas de manejo do solo e doses de N em cobertura

| Tratamento | PIP | | P foliar | | K foliar | | MS _{planta} | | MS _{acumulado} | |
|--------------------------------------|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| | 2009/2010 | 2010/2011 | 2009/2010 | 2010/2011 | 2009/2010 | 2010/2011 | 2009/2010 | 2010/2011 | 2009/2010 | 2010/2011 |
| —— plantas ka ⁻¹ —— | | | | | | | | | | |
| Cobertura vegetal (C) | | | | | | | | | | |
| Milheto | 53.657 | 54.768 | 3,5 b | 3,2 b | 20,8 | 23,3 | 097,6 | 115,7 b | 4.933 | 6.317 b |
| Crotalária | 54.861 | 54.375 | 4,1 a | 3,6 a | 21,5 | 24,1 | 103,3 | 133,9 a | 5.362 | 7.227 a |
| Milheto + crotalária | 54.954 | 54.144 | 4,1 a | 3,6 a | 20,7 | 23,6 | 101,4 | 129,9 a | 5.244 | 6.990 ab |
| Manejo do solo (M) ⁽¹⁾ | | | | | | | | | | |
| E+GL | 51.551 c | 52.361 b | 4,0 a | 3,4 | 20,6 | 23,4 | 106,9 | 127,5 b | 5.223 | 6.633 b |
| GP+GL | 53.750 b | 54.143 b | 4,0 a | 3,5 | 21,3 | 23,9 | 099,2 | 118,4 c | 5.024 | 6.362 b |
| SPD | 58.171 a | 56.782 a | 3,7 b | 3,5 | 21,2 | 23,7 | 096,3 | 133,7 a | 5.292 | 7.540 a |
| Dose de N (D) (kg ha ⁻¹) | | | | | | | | | | |
| 0 | - | - | 3,5 ⁽³⁾ | 3,2 | 20,9 | 23,3 | 93,0 ⁽⁴⁾ | 119,7 ⁽⁵⁾ | 4.763 ⁽⁶⁾ | 6.413 ⁽⁷⁾ |
| 60 | - | - | 3,9 | 3,5 | 20,8 | 23,8 | 101,8 | 125,8 | 5.303 | 6.775 |
| 90 | - | - | 4,1 | 3,6 | 21,2 | 23,7 | 101,1 | 127,5 | 5.235 | 6.937 |
| 120 | - | - | 4,2 | 3,7 | 21,1 | 23,9 | 107,2 | 133,0 | 5.418 | 7.255 |
| C | 4,1 | 0,3 | 66,7** | 56,5** | 2,1 | 3,1 | 2,1 | 14,2** | 4,2 | 8,9* |
| M | 118,0** | 19,4** | 31,4** | 2,4 | 2,5 | 1,4 | 2,8 | 36,8** | 0,5 | 23,3** |
| D | - | - | 90,1** | 38,9** | 0,2 | 2,6 | 7,1** | 5,5** | 4,8** | 8,6** |
| Valor F ⁽²⁾ | C x M | 0,5 | 0,2 | 0,8 | 0,6 | 3,0* | 0,4 | 1,0 | 1,2 | 1,8 |
| | CC x D | - | - | 0,7 | 1,4 | 0,7 | 0,3 | 2,2 | 0,3 | 0,4 |
| | M x D | - | - | 2,0 | 2,2** | 2,0 | 0,3 | 0,3 | 0,9 | 0,7 |
| | C x M x D | - | - | 1,4 | 1,0 | 0,7 | 0,5 | 1,5 | 1,1 | 1,5 |
| CV (%) | 2 | 2 | 5 | 6 | 5 | 5 | 10 | 14 | 11 | 15 |
| Média geral | 54.490 | 54.430 | 3,9 | 3,5 | 21,0 | 23,7 | 100,8 | 126,5 | 5.180 | 6.845 |

⁽¹⁾ E+GL: preparo com escarificador + grade “leve”, GP+GL: preparo com grade “pesada” + grade “leve”, SPD: sistema plantio direto. ⁽²⁾ Teste F: ** e *: significativo a 1 e 5 %, respectivamente. ⁽³⁾ $\hat{y} = 3,56 + 0,005 x^{**}$, $R^2 = 0,99$. ⁽⁴⁾ $\hat{y} = 93,39 + 0,109 x^{**}$, $R^2 = 0,92$. ⁽⁵⁾ $\hat{y} = 119,39 + 0,105 x^{**}$, $R^2 = 0,97$. ⁽⁶⁾ $\hat{y} = 4.828 + 5,201 x^{**}$, $R^2 = 0,86$. ⁽⁷⁾ $\hat{y} = 6.388 + 6,766 x^{**}$, $R^2 = 0,98$. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 %. CV: coeficiente de variação.

se diferença entre manejo do solo, em que o SPD proporcionou maior teor de P foliar em relação ao manejo com E+GL, porém estatisticamente semelhante ao do manejo com GP+GL (Quadro 3). Após os três manejos do solo, o teor de P foliar aumentou de modo linear com a elevação na dose de N. O aumento no teor de P foliar, em ambos os anos agrícolas, em resposta ao incremento da dose de N, revelou a presença de sinergismo entre esses nutrientes. Respostas aquém das expectativas, mesmo com altas doses de N, podem ocorrer em razão da deficiência de P ou de outros nutrientes (Marschner, 1995). A deficiência de P pode induzir a de N, principalmente pela redução nas taxas de absorção de nitrato, e a separação espacial dos nutrientes pode causar menor acúmulo de ambos na parte aérea do milho. Para Büll (1993), foi marcante a influência do N na maior absorção de P pelo milho, o que de fato foi observado neste estudo.

O teor de K foliar no milho foi influenciado apenas pela interação entre cobertura vegetal e manejo do solo, no primeiro ano de cultivo (Quadro 2). Houve diferença entre as coberturas vegetais somente quando o solo foi manejado com E+GL, em que a utilização de crotalária antecedendo o milho propiciou maior teor de K foliar, embora não tenha ocorrido diferença significativa comparativamente ao cultivo de milheto + crotalária (Quadro 4). Diferença entre manejo do solo foi verificada somente quando o milheto antecedeu o milho, observando-se maior teor de K foliar com o manejo de GP+GL, apesar de não se ter constatado superioridade estatística quando comparado ao SPD. A ausência de alteração no teor de K foliar ao incremento da dose de N ratificou os resultados observados por Casagrande & Fornasieri Filho (2002), os quais não verificaram influência de dose de N sobre o teor foliar desse nutriente no milho. Os teores médios de K na folha nos anos agrícolas 2009/2010 ($21,0 \text{ g kg}^{-1}$) e 2010/2011 ($23,7 \text{ g kg}^{-1}$) foram considerados adequados para a cultura do milho (Malavolta et al., 1997). Esse resultado pode ser em razão do suficiente suprimento de K ao milho, por causa dos seus teores no solo da área experimental, nos três sistemas de manejo do solo, se encontrarem dentro da faixa adequada de disponibilidade. Ademais, o fato de o K

não fazer parte de nenhum composto celular no vegetal (Malavolta et al., 1997), associado à consideração da liberação de 100 % do K proveniente dos resíduos culturais (Calonego et al., 2005), pode ter contribuído para a sua rápida disponibilização à planta, com consequente aproveitamento por essa.

A produção de $\text{MS}_{\text{planta}}$, no ano agrícola 2009/2010, foi influenciada apenas pela dose de N (Quadro 2). O incremento na dose de N proporcionou aumento linear da $\text{MS}_{\text{planta}}$, em que o maior valor, obtido com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N, representou em relação à ausência da aplicação do nutriente em cobertura, incremento de 15 % na biomassa. De maneira similar, Ohland et al. (2005) verificaram incremento de 16 % $\text{MS}_{\text{planta}}$ de milho com a aplicação de 100 kg ha^{-1} de N, em relação ao tratamento que não recebeu o nutriente. É provável que o incremento da produção de $\text{MS}_{\text{planta}}$, neste estudo, esteja atribuído, também, ao efeito indireto do N, ou seja, no favorecimento do desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

No ano agrícola 2010/2011, a produção de $\text{MS}_{\text{planta}}$ foi influenciada, isoladamente, por todos os fatores considerados (Quadro 2). O cultivo de crotalária e milheto + crotalária resultou em maior produção de $\text{MS}_{\text{planta}}$ comparativamente ao milheto. Resultados similares foram obtidos por Silva et al. (2009), os quais

Quadro 4. Teor de K foliar no florescimento do milho em razão de coberturas vegetais e sistemas de manejo do solo (2009/2010)

| Cobertura vegetal | Manejo do solo ⁽¹⁾ | | |
|---------------------------------|-------------------------------|---------|----------|
| | E+GL | GP+GL | SPD |
| K foliar (g kg^{-1}) | | | |
| Milheto | 19,9 bB | 21,6 aA | 20,9 aAB |
| Crotalária | 21,3 aA | 21,3 aA | 21,8 aA |
| Milheto + crotalária | 20,7 abA | 20,7 aA | 20,7 aA |

⁽¹⁾ E+GL: preparo com escarificador + grade “leve”, GP+GL: preparo com grade “pesada” + grade “leve”, SPD: sistema plantio direto. Médias seguidas por mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 3. Teor de P foliar no florescimento do milho em razão de sistemas de manejo do solo e doses de N em cobertura (2010/2011)

| Manejo do solo ⁽¹⁾ | Dose de N (kg ha^{-1}) | | | | Equação | R^2 |
|---------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|----------------------------------|-------|
| | 0 | 60 | 90 | 120 | | |
| P foliar (g kg^{-1}) | | | | | | |
| E+GL | 3,0 b | 3,5 a | 3,5 a | 3,7 a | $\hat{y} = 2,999 + 0,006 x^{**}$ | 0,96 |
| GP+GL | 3,1 ab | 3,5 a | 3,6 a | 3,7 a | $\hat{y} = 3,169 + 0,005 x^{**}$ | 0,99 |
| SPD | 3,4 a | 3,5 a | 3,5 a | 3,7 a | $\hat{y} = 3,351 + 0,003 x^{**}$ | 0,97 |

⁽¹⁾ E+GL: preparo com escarificador + grade “leve”, GP+GL: preparo com grade “pesada” + grade “leve”, SPD: sistema plantio direto. Teste F: **: significativo a 1 %. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

verificaram maiores valores de MS_{planta} no milho cultivado sobre resíduos de *Crotalaria juncea*. A maioria dos trabalhos revelou que o aproveitamento do N proveniente da decomposição dos resíduos de crotalária é maior que o fornecido pelo milheto (Silva et al., 2009). O SPD propiciou maior MS_{planta} em relação ao manejo do solo com E+GL, que, por sua vez, foi superior ao manejo com GP+GL, ratificando os resultados obtidos por Kaneko et al. (2010), na mesma área experimental. Entretanto, é possível que o revolvimento do solo, em virtude da incorporação e decomposição mais rápida dos resíduos culturais, tenha proporcionado maior evaporação da água nele retida, em razão da elevação da temperatura, o que pode ter prejudicado o desenvolvimento das plantas. Portanto, admite-se que no SPD, em que a produção de matéria seca das coberturas vegetais ficou sobre a superfície por maior período de tempo, tenha ocorrido maior proteção do solo, menor evaporação e, consequentemente, aumento da capacidade de armazenamento de água da chuva, favorecendo, dessa maneira, o acúmulo de biomassa pelas plantas. Carvalho et al. (2004) não observaram diferenças entre o SPD e manejo do solo com GP+GL para a MS_{planta} de milho, cultivado no verão, em Latossolo Vermelho argiloso em baixa altitude, diferindo, assim, dos resultados deste trabalho. Condizente com o primeiro ano agrícola, o aumento na dose de N proporcionou incremento linear da MS_{planta} , em que o maior valor, evidenciado com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N, representou incremento de 11 % na biomassa, em relação à ausência da aplicação do nutriente em cobertura, corroborando, novamente, com os resultados obtidos por Ohland et al. (2005) e Kaneko et al. (2010), bem como com as afirmações de Büll (1993). Porém, os resultados foram incoerentes quando comparados aos observados por Heinrichs et al. (2003). Esses pesquisadores avaliaram o efeito de doses de N (0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 kg ha⁻¹), tendo como fonte a ureia, quando o milho encontrava-se no estádio de desenvolvimento V₆ e não constataram modificações significativas na MS_{planta} , em razão da alteração das respectivas doses.

A produção de $MS_{acumulada}$ pelo milho, no ano agrícola 2009/2010, foi influenciada pela dose de N, independentemente de cobertura vegetal e manejo do solo (Quadro 2). O aumento na dose de N resultou em incremento linear da produção de $MS_{acumulada}$, em que o maior valor, evidenciado com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N, representou acréscimo de 14 % na biomassa em relação à ausência do nutriente em cobertura. Constatou-se, mediante equação de regressão, que para cada kg ha⁻¹ de N aplicado em cobertura, houve acréscimo de 5,2 kg ha⁻¹ na $MS_{acumulada}$. Carvalho et al. (2011), avaliando desempenho de genótipos de milho quanto à eficiência da adubação nitrogenada, verificaram que a maioria deles apresentou incremento na $MS_{acumulada}$ quando se alterou a dose de 40 para 160 kg ha⁻¹ de N em cobertura, ratificando os resultados deste estudo. No

entanto, Bertin et al. (2005) não observaram incremento na $MS_{acumulada}$ do milho cultivado em SPD, quando comparadas a ausência de N em cobertura e a aplicação de 120 kg ha⁻¹ do nutriente.

No ano agrícola 2010/2011, a produção de $MS_{acumulada}$ foi influenciada, isoladamente, pela cobertura vegetal, pelo manejo do solo e pela dose de N (Quadro 2). O milho cultivado após a crotalária apresentou maior produção de matéria seca, apesar de que tal supremacia não tenha sido estatisticamente diferente da sucessão ao milheto + crotalária. É possível que esse resultado esteja atrelado à maior relação C/N do milheto. Pesquisas demonstraram que resíduos vegetais com relação C/N acima de 25/1 favoreceram o processo de imobilização temporária do N mineral da solução do solo pelos microrganismos. Já resíduos com relação C/N inferior a 25/1 favoreceram a mineralização e a rápida liberação do N e demais nutrientes presentes em sua biomassa. Observou-se que o SPD favoreceu maior $MS_{acumulada}$, o que pode estar relacionado à população de plantas, uma vez que essa foi maior nesse sistema, comparativamente aos manejos com revolvimento do solo. O incremento na dose de N propiciou aumento linear da produção de $MS_{acumulada}$, discordando, novamente, dos resultados constatados por Bertin et al. (2005). O maior valor de $MS_{acumulada}$, obtido com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N, representou acréscimo de 13 % na biomassa em relação à ausência da aplicação do nutriente em cobertura, similar ao percentual de incremento obtido no primeiro ano de cultivo. Notou-se que, para cada kg ha⁻¹ de N aplicado em cobertura, houve incremento de 6,8 kg ha⁻¹ na $MS_{acumulada}$ pelo milho (Quadro 2).

Os teores de N e de P na planta inteira de milho, no ano agrícola 2010/2011, foram influenciados, isoladamente, apenas pela dose de N (Quadro 5). Entretanto, Figueiredo et al. (2005), avaliando manejo do solo no Cerrado (Latossolo Vermelho), verificaram alterações na dinâmica de absorção de N pelo milho; sob SPD e manejo com escarificador, houve maior eficiência de recuperação no N oriundo do fertilizante, além de maiores teores do nutriente nos grãos, quando comparado aos manejos com arados de disco e aiveca. A elevação da dose de N proporcionou incremento linear no teor desse nutriente na planta inteira, revelando insuficiência do N fornecido em cobertura. Os resultados evidenciaram-se coerentes aos de Carvalho et al. (2011), os quais relataram aumento linear no teor de N na planta inteira de milho à medida que se alterou a dose de 40 até 160 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Silva et al. (2009) constataram que o milho cultivado em sucessão ao milheto e à *Crotalaria juncea* apresentou incremento linear no acúmulo de N na planta inteira, em resposta às doses do nutriente em cobertura, corroborando, em parte, com os resultados deste estudo. Deve-se considerar que os resultados do teor de N na planta inteira podem estar subestimados, em razão de não estar sendo considerado o nutriente contido no sistema radicular. A elevação da dose de N

Quadro 5. Valores médios e resumo da análise de variância de teores de N (N_{PI}), P (P_{PI}) e K na planta inteira (K_{PI}) e N (N_A), P (P_A) e K acumulado (K_A) na matéria seca de parte aérea em razão de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de N em cobertura na cultura do milho (2010/2011)

| Tratamento | N_{PI} | P_{PI} | K_{PI} | N_A | P_A | K_A |
|---|---------------------|--------------------|----------|---------------------|---------------------|----------------------|
| g kg^{-1} | | | | kg ha^{-1} | | |
| Cobertura vegetal (C) | | | | | | |
| Milheto | 11,5 | 2,3 | 21,3 | 73,3 b | 14,7 b | 133,8 b |
| Crotalária | 12,5 | 2,5 | 21,9 | 91,0 a | 17,9 a | 158,3 a |
| Milheto + crotalária | 12,3 | 2,5 | 21,6 | 86,3 a | 17,8 a | 150,4 a |
| Manejo do solo (M)(1) | | | | | | |
| E+GL | 12,5 | 2,4 | 21,6 | 83,7 ab | 16,2 ab | 142,4 b |
| GP+GL | 12,2 | 2,4 | 21,6 | 77,9 b | 15,5 b | 136,7 b |
| SPD | 11,6 | 2,4 | 21,6 | 89,0 a | 18,6 a | 163,4 a |
| Dose de N (D) (kg ha⁻¹) | | | | | | |
| 0 | 10,3 ⁽³⁾ | 2,2 ⁽⁴⁾ | 21,0 | 66,1 ⁽⁵⁾ | 14,3 ⁽⁶⁾ | 135,0 ⁽⁷⁾ |
| 60 | 12,2 | 2,4 | 21,6 | 83,5 | 16,5 | 146,1 |
| 90 | 12,6 | 2,5 | 22,3 | 87,4. | 17,7 | 154,4 |
| 120 | 13,3 | 2,6 | 21,4 | 97,1 | 18,7 | 154,5 |
| C | 0,9 | 1,7 | 0,7 | 8,6* | 10,7** | 012,6** |
| M | 1,6 | 0,1 | 0,1 | 5,9* | 7,3* | 016,6** |
| D | 11,2** | 5,0** | 1,9 | 18,1** | 8,9** | 0 21,8** |
| Valor F ⁽²⁾ | | | | | | |
| C x M | 0,7 | 0,5 | 1,5 | 0,7 | 0,7 | 1,6 |
| C x D | 1,8 | 0,7 | 1,5 | 2,2 | 0,3 | 1,0 |
| M x D | 1,3 | 1,7 | 0,3 | 0,9 | 0,6 | 1,1 |
| C x M x D | 2,0 | 1,3 | 1,3 | 1,7 | 1,0 | 1,1 |
| CV (%) | 21 | 14 | 10 | 26 | 21 | 15 |
| Média geral | 12,1 | 2,4 | 21,6 | 83,5 | 16,8 | 147,5 |

⁽¹⁾ E+GL: preparo com escarificador + grade “leve”, GP+GL: preparo com grade “pesada” + grade “leve”, SPD: sistema plantio direto. ⁽²⁾ Teste F: ** e *: significativo a 1 e 5 %, respectivamente. ⁽³⁾ $\hat{y} = 10,41 + 0,025 \text{x}^{**}$, $R^2 = 0,97$. ⁽⁴⁾ $\hat{y} = 2,24 + 0,003 \text{x}^{**}$, $R^2 = 0,99$. ⁽⁵⁾ $\hat{y} = 66,58 + 0,251 \text{x}^{**}$, $R^2 = 0,98$. ⁽⁶⁾ $\hat{y} = 14,31 + 0,037 \text{x}^{**}$, $R^2 = 0,99$. ⁽⁷⁾ $\hat{y} = 135,71 + 0,175 \text{x}^{**}$, $R^2 = 0,94$. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 %. CV: coeficiente de variação.

proporcionou incremento linear no teor de P na planta inteira, confirmado novamente a presença de sinergismo na absorção desses nutrientes e aos relatos de Büll (1993), ao mencionar que é marcante a influência do N na maior absorção de P pelo milho. O teor de K na planta inteira de milho, no ano agrícola 2010/2011, não foi influenciado por nenhum dos fatores considerados.

A estimativa das quantidades de N, P e K acumuladas na matéria seca de parte aérea de plantas de milho foi influenciada, isoladamente, por todos os fatores (Quadro 5). O cultivo de crotalária e de milheto + crotalária antecedendo o milho proporcionou maiores quantidades de N, P e K acumuladas, quando comparado ao milheto. A maior quantidade de N acumulada pode ser justificada pela maior disponibilidade de N propiciado pela fabácea e pela maior produção de MS_{acumulada} (Quadro 2), haja vista que o teor do nutriente na planta inteira foi semelhante em função das coberturas vegetais; o N acumulado foi obtido pelo produto do teor do nutriente na planta inteira (g kg⁻¹) e da produção de matéria seca da cultura (kg ha⁻¹). Embora não tenha diferido do manejo

do solo com E+GL, o SPD propiciou maiores quantidades de N e de P acumuladas. O SPD proporcionou maior quantidade de K acumulada quando comparado com os manejos com revolvimento do solo. Tais resultados podem ser atribuídos à maior produção de MS_{acumulada} pelo milho no SPD, haja vista que os teores de N, P e K na planta inteira não foram influenciados pelo manejo do solo (Quadro 2). As quantidades de N, P e K acumuladas aumentaram linearmente em resposta às doses crescentes de N em cobertura. Tal resultado foi justificado pela resposta linear verificada com a produção de MS_{acumulada} pelo milho à medida que se aumentou as doses de N em cobertura, pois os teores de tais nutrientes na planta não foram interferidos pelos fatores estudados.

A altura de planta (AP) nos anos agrícolas 2009/2010 e 2010/2011 foi influenciada, isoladamente, por todos os fatores considerados, observando-se interação entre cobertura vegetal e dose de N (Quadro 6). O SPD favoreceu o desenvolvimento vegetativo da cultura, resultando em plantas com maior altura, quando comparado aos manejos com revolvimento do solo em ambos os anos agrícolas. É possível que o

Quadro 6. Resumo da análise de variância e valores médios de altura de planta (AP), altura de inserção de espiga (AIE), população final de plantas (PFP) e quebramento de planta (QUEB) de milho em razão de coberturas vegetais, sistemas de manejo do solo e doses de N em cobertura

| Tratamento | AP | | AIE | | PFP | | QUEB | |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| | 2009/2010 | 2010/2011 | 2009/2010 | 2010/2011 | 2009/2010 | 2010/2011 | 2009/2010 | 2010/2011 |
| Cobertura vegetal (C) | cm | | | | | | plantas/ha | |
| Milheto | 194,3 | 210,3 | 95,0 | 114,6 b | 50.509 | 54.444 | 5,0 | 2,1 |
| Crotalária | 198,5 | 219,0 | 98,0 | 118,7 ab | 51.944 | 53.935 | 4,3 | 1,3 |
| Milheto + crotalária | 197,0 | 221,2 | 96,8 | 120,1 a | 51.805 | 53.842 | 5,1 | 1,2 |
| Manejo do solo (M) ⁽¹⁾ | | | | | | | | |
| E+GL | 192,3 b | 213,0 b | 192,0 b | 116,8 | 48.680 c | 52.014 b | 5,3 | 1,9 |
| GP+GL | 195,5 b | 212,4 b | 194,8 b | 116,6 | 50.579 b | 53.843 b | 4,3 | 1,3 |
| SPD | 202,0 a | 225,0 a | 102,9 a | 120,0 | 55.000 a | 56.366 a | 4,6 | 1,4 |
| 0 | 191,6 | 211,2 | 94,3(3) | 114,3(4) | 51.173 | 53.457 | 5,5 | 2,3 |
| 60 | 198,1 | 217,0 | 97,6 | 117,3 | 52.068 | 53.889 | 4,5 | 1,1 |
| 90 | 197,4 | 220,7 | 96,8 | 120,0 | 51.883 | 54.352 | 4,4 | 1,2 |
| 120 | 199,3 | 218,4 | 97,6 | 119,6 | 50.555 | 54.599 | 4,6 | 1,5 |
| C | 12,4** | 18,8** | 4,6 | 6,2* | 3,2 | 0,4 | 2,7 | 2,5 |
| M | 12,3** | 41,9** | 70,6** | 2,8 | 143,2** | 15,1** | 0,9 | 1,2 |
| D | 13,7** | 25,2** | 7,4** | 7,9** | 1,3 | 2,1 | 1,5 | 2,1 |
| Valor F ⁽²⁾ | C | 0,7 | 1,2 | 1,0 | 0,5 | 0,7 | 1,5 | 0,9 |
| | C x D | 5,0** | 2,3* | 1,5 | 0,3 | 0,6 | 0,8 | 1,2 |
| | M x D | 1,2 | 0,6 | 0,7 | 1,3 | 1,5 | 0,2 | 1,3 |
| | C x M x D | 0,2 | 0,9 | 0,4 | 2,0 | 1,0 | 1,5 | 1,8 |
| CV (%) | | 3 | 3 | 6 | 5 | 7 | 5 | 54 |
| Média geral | 196,6 | 216,8 | 96,6 | 117,8 | 51.420 | 54.074 | 4,8 | 1,5 |

⁽¹⁾ E+GL: preparo com escarificador + grade “leve”, GP+GL: preparo com grade “pesada” + grade “leve”, SPD: sistema plantio direto. ⁽²⁾ Teste F: ** e *: significativo a 1 e 5 %, respectivamente. ⁽³⁾ $\hat{y} = 94,82 + 0,026x^{**}$, $R^2 = 0,73$. ⁽⁴⁾ $\hat{y} = 114,51 + 0,049x^{**}$, $R^2 = 0,91$. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 %. CV: coeficiente de variação.

revolvimento do solo, em virtude da incorporação e decomposição mais rápida dos resíduos culturais, tenha proporcionado maior evaporação da água nele retida, em razão da elevação da temperatura, o que pode ter prejudicado o desenvolvimento das plantas. Portanto, admite-se que no SPD, em que a produção de MS das coberturas vegetais ficou sobre a superfície por maior período de tempo, tenha ocorrido maior proteção do solo, menor evaporação e, consequentemente, aumento da capacidade de armazenamento de água da chuva, favorecendo, dessa maneira, o desenvolvimento das plantas. No entanto, os resultados discordam dos de Carvalho et al. (2004), os quais relataram maior AP de milho quando esse foi cultivado após o solo ter sido manejado com GP, em relação ao SPD.

No ano agrícola 2009/2010, verificou-se que quando não se aplicou N em cobertura, o cultivo de crotalária e de milheto + crotalária proporcionou maior AP comparativamente ao milheto (Quadro 7). Na aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N, maior AP foi verificada quando a cultura antecessora foi a crotalária, embora essa superioridade não tenha sido diferenciada do

milheto. Sobretudo, nas demais doses avaliadas, não houve diferença entre as coberturas vegetais para a AP. Notou-se que quando o milheto antecedeu o cultivo, houve aumento linear de AP com o incremento na dose de N em cobertura. A maior AP constatada com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N representou, em relação à ausência do nutriente em cobertura, superioridade de 9 %. Aumento na AP em resposta às alterações na dose de N na cultura do milho também foi evidenciado por Silva et al. (2006a), Lana et al. (2009) e Santos et al. (2010b). Segundo Marschner (1995), em cereais, a aplicação de doses elevadas de N nos estádios iniciais de desenvolvimento (duas a quatro folhas expandidas) elevou a produção de fitormônios promotores do desenvolvimento responsáveis pelos processos de divisão e expansão celular, aumentando o alongamento do colmo e, consequentemente, a AP.

Observou-se que quando não se aplicou N em cobertura e perante aplicação de 60 kg ha⁻¹ do nutriente, no ano agrícola 2010/2011, a crotalária e o milheto + crotalária proporcionaram maior AP comparativamente ao milheto (Quadro 7). Quando se aplicaram 90 kg ha⁻¹ de N, maior AP foi verificada

Quadro 7. Altura de planta de milho em razão de coberturas vegetais e doses de N em cobertura (2009/2010 e 2010/2011)

| Cobertura vegetal | Dose de N (kg ha ⁻¹) | | | | Equação de regressão | R ² |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------|----------|---------|--|----------------|
| | 0 | 60 | 90 | 120 | | |
| Altura de planta (cm) (2009/2010) | | | | | | |
| Milheto | 183,3 b | 194,9 a | 198,5 ab | 200,6 a | $\hat{y} = 184,35 + 0,148 x^{**}$ | 0,96 |
| Crotalária | 194,8 a | 200,5 a | 200,5 a | 198,1 a | $\hat{y} = \bar{y} = 198,5$ | - |
| M+C(1) | 196,7 a | 198,8 a | 193,2 b | 199,3 a | $\hat{y} = \bar{y} = 197,0$ | - |
| Altura de planta (cm) (2010/2011) | | | | | | |
| Milheto | 201,2 b | 208,5 b | 215,3 b | 216,1 a | $\hat{y} = 201,32 + 0,133 x^{**}$ | 0,96 |
| Crotalária | 217,3 a | 219,8 a | 220,4 ab | 218,5 a | $\hat{y} = \bar{y} = 219,0$ | - |
| M+C | 215,2 a | 222,6 a | 226,3 a | 220,7 a | $\hat{y} = 214,9 + 0,2x - 0,002 x^2^*$ | 0,89 |

⁽¹⁾ E+GL: preparo com escarificador + grade “leve”, GP+GL: preparo com grade “pesada” + grade “leve”, SPD: sistema plantio direto. Teste F: **: significativo a 1 %. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

quando o consórcio milheto + crotalária antecedeu o milho, embora essa superioridade não tenha sido diferenciada da crotalária. Na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, não houve diferença entre as coberturas vegetais para a AP. Houve aumento linear da AP com o incremento na dose de N em cobertura, quando o milheto antecedeu o milho. A maior AP, constatada com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N, representou superioridade de 7 % em relação à ausência do nutriente em cobertura. Porém, sob cultivo de milheto + crotalária, houve comportamento quadrático da AP em função das alterações na dose de N, cujo modelo permitiu estimar o valor de 219,9 cm como sendo a máxima AP obtida com a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N em cobertura. De forma condizente, Souza & Soratto (2006) também verificaram resposta quadrática da AP em função de dose de N em cobertura (0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹), via ureia, quando o milho apresentava-se em V₄; o maior valor foi de 168,0 cm perante a dose estimada de 66,8 kg ha⁻¹ de N.

A altura de espiga (AIE) foi influenciada, isoladamente, pelo manejo do solo e pela dose de N no ano agrícola 2009/2010 (Quadro 6). O SPD proporcionou plantas com maior AIE, quando comparado ao manejo do solo com E+GL e com GP+GL. Novamente, é possível que o revolvimento do solo, em virtude da incorporação e decomposição mais rápida dos resíduos culturais, tenha favorecido maior evaporação da água retida no solo, em razão da elevação da temperatura, o que pode ter prejudicado o desenvolvimento das plantas. O incremento na dose de N resultou em aumento linear da AIE. O maior valor, constatado com as aplicações de 60 e 120 kg ha⁻¹ de N, representou em relação à ausência de aplicação do nutriente em cobertura aumento de 3 %. Os resultados apresentam-se coerentes com os obtidos por Souza & Soratto (2006) e Lana et al. (2009). Esses pesquisadores avaliaram a resposta do milho à aplicação de N e verificaram que a AIE foi maior nos tratamentos que receberam N, em relação à testemunha. Conforme relatado por Büll (1993), uma

planta bem nutrida em N apresentou maior desenvolvimento da área foliar e do sistema radicular, pois esse nutriente influenciou a divisão, a expansão celular e a fotossíntese, o que leva ao aumento da AP e, consequentemente, da AIE.

No ano agrícola 2010/2011, a AIE foi influenciada, pela cobertura vegetal e dose de N, independentemente de manejo do solo (Quadro 6). Na utilização do consórcio milheto + crotalária antecedendo o milho, obteve-se plantas com maior AIE, apesar de que essa superioridade não tenha sido diferenciada da crotalária. Novamente, o acréscimo na dose de N resultou em incremento linear da AIE, ratificando os resultados de Souza & Soratto (2006) e Lana et al. (2009). O maior valor de AIE, constatado com a aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N, representou, em relação à ausência do nutriente em cobertura, superioridade de 5 %. Embora a AIE tenha aumentado de forma linear em resposta às doses de N, em ambos os anos agrícolas, tal resposta sugeriu efeito desfavorável sobre o híbrido utilizado, uma vez que a maior AIE predispõe a planta ao acamamento.

Em ambos os anos agrícolas, a população final de plantas (PFP) foi influenciada apenas pelo manejo do solo, obtendo-se maiores valores no SPD, comparativamente aos sistemas de revolvimento do solo (Quadro 6). Kaneko et al. (2010) também verificaram que o milho, no espaçamento de 0,9 m entre as linhas, teve maior PFP quando cultivado no SPD, comparativamente aos manejos do solo com E+GL e GP+GL. Apesar dos efeitos dos tratamentos sobre AP e AIE neste trabalho, o quebramento de planta não foi influenciado pelos fatores considerados em ambos os anos agrícolas (Quadro 6). Os percentuais de plantas quebradas foram considerados baixos mesmo na presença de aplicação de N em cobertura, prática essa que pode favorecer o quebramento de planta da cultura quando aplicadas doses excessivas do nutriente. Resultados condizentes foram observados por Shioga et al. (2004), os quais avaliaram os efeitos de densidade de semeadura e dose de N e verificaram que os percentuais de plantas de milho quebradas não

foram elevados, mas somente para as altas densidades. Ressalta-se que as próprias características agronômicas do híbrido utilizado, como ciclo precoce (860 graus-dia), arquitetura foliar semiereta, excelente desenvolvimento do sistema radicular, bom *stay green*, alta tolerância ao acamamento e ausência de ocorrência de doenças de colmo e de condições climáticas adversas, como chuvas e ventos fortes, podem ter contribuído para obter baixo percentual de quebramento de planta.

CONCLUSÕES

1. O cultivo de crotalária e de milheto + crotalária, como antecessores, resultou em maior produção de matéria seca de parte aérea, teor de P foliar e quantidade de N, P e K acumulada.

2. O sistema plantio direto proporcionou maior população inicial e final de plantas, produção de matéria seca de parte aérea e menor altura de planta e espiga.

3. A aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura do milho forneceu maior teor de P foliar, teores de N e P na planta inteira, produção de matéria seca de parte aérea, quantidade de N, P e K acumulada e altura de planta e inserção de espiga.

AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pela bolsa de estudo concedida ao primeiro autor.

LITERATURA CITADA

- AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. & VITTI, G.C., eds. Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba, IPNI Brasil, 2007. p.1-42.
- AITA, C.; GIACOMINI, J.C.; HÜBNER, A.P.; CHIAPINOTTO, I.C. & FRIES, M.R. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I - Dinâmica do nitrogênio no solo. R. Bras. Ci. Solo, 28:739-749, 2004.
- ALVA, A.K.; PARAMASIVAM, S.; FARES, A.; DELGADO, J.A.; MATTOS JR, D. & SAJWAN, K. Nitrogen and irrigation management practices to improve nitrogen uptake efficiency and minimize leaching losses. J. Crop Improv., 15:369-420, 2006.
- BERTIN, E.G.; ANDRIOLI, I. & CENTURION, J.F. Plantas de cobertura em pré-safra ao milho em plantio direto. Acta Sci. Agron., 27:379-386, 2005.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H., eds. Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, Potafos, 1993. p.63-145.
- CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. & ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio da palha de plantas de cobertura em diferentes estádios de senescência após a dessecação química. R. Bras. Ci. Solo, 29:99-108, 2005.
- CARVALHO, I.Q.; SILVA, M.J.S.; PISSAIA, A.; PAULETTI, V. & POSSAMAI, J.C. Espécies de cobertura de inverno e nitrogênio na cultura do milho em sistema de plantio direto. Sci. Agric., 8:179-184, 2007.
- CARVALHO, M.A.C.; SORATTO, R.P.; ATHAYDE, M.L.F.; ARF, O. & SÁ, M.E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. Pesq. Agropec. Bras., 39:47-53, 2004.
- CARVALHO, R.P.; VON PINHO, R.G. & DAVIDE, L.M.C. Desempenho de cultivares de milho quanto à eficiência de utilização de nitrogênio. R. Bras. Milho Sorgo, 10:108-120, 2011.
- CASAGRANDE, J.R.R. & FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. Pesq. Agropec. Bras., 37:33-40, 2002.
- CASTOLDI, G.; FREIBERGER, M.B.; CASTOLDI, G. & COSTA, C.H.M. Manejo da adubação em sistema plantio direto. R. Trop. Ci. Agric. Biol., 6:62-74, 2012.
- CENTURION, J.F. Balanço hídrico da região de Ilha Solteira. Científica, 10:57-61, 1982.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. & URQUIAGA, S. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. Pesq. Agropec. Bras., 40:279-287, 2005.
- HEINRICHS, R.; OTOBONI, J.L.M.; GAMBA JÚNIOR, A.; CRUZ, M.C. & SILVA, C. Doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. R. Ci. Eletr. Agron., 4:1-5, 2003.
- KAPPES, C. Utilizações e benefícios da crotalária na agricultura. R. Panorama Rural, 147:16-17, 2011.
- KANEKO, F.H.; ARF, O.; GITTI, D.C.; ARF, M.V.; CHIODEROLI, C.A. & KAPPES, C. Manejo do solo e do nitrogênio em milho cultivado em espaçamentos reduzido e tradicional. Bragantia, 69:677-686, 2010.
- LANA, M.C.; WOYTICHOSKI JÚNIOR, P.P.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; ÁVILA, M.R. & ALBRECHT, L.P. Arranjo espacial e adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho. Acta Sci. Agron., 31:433-438, 2009.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; ALVES, B.J.R.; CABALLERO, S.S.U. & SANTANA, D.G. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. Ci. Rural, 34:1005-1013, 2004.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KORNDÖRFER, G.H. & PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). R. Bras. Ci. Solo, 24:363-376, 2000.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London, Academic Press, 1995. 889p.
- OHLAND, R.A.A.; SOUZA, L.C.F.; HERNANI, L.C.; MARCHETTI, M.E. & GONÇALVES, M.C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. Ci. Agrotec., 29:538-544, 2005.
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J. & BENSON, G.O. Como a planta de milho se desenvolve. Piracicaba, Potafos, 2003. 20p. (Informações Agronômicas, 103)
- SANTOS, M.M.; GALVÃO, J.C.C.; SILVA, I.R.; MIRANDA, G.V. & FINGER, F.L. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio (^{15}N) na planta. R. Bras. Ci. Solo, 34:1185-1194, 2010a.
- SANTOS, P.A.; SILVA, A.F.; CARVALHO, M.A.C. & CAIONE, G. Adubos verdes e adubação nitrogenada em cobertura no cultivo do milho. R. Bras. Milho Sorgo, 9:123-134, 2010b.
- SILVA, D.A.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C. & ROSCOE, R. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na cultura do milho, em sistema plantio direto. R. Bras. Milho Sorgo, 5:75-88, 2006a.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S. & TRIVELIN, P.C.O. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho. Pesq. Agropec. Bras., 41:477-486, 2006b.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; VILLANUEVA, F.C.A. & ESPINAL, F.S.C. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. Pesq. Agropec. Bras., 44:2, 118-127, 2009.
- SHIOGA, P.S.; OLIVEIRA, E.L. & GERAGE, A.C. Densidade de plantas e adubação nitrogenada em milho cultivado na safrinha. R. Bras. Milho Sorgo, 3:381-390, 2004.
- SOUZA NETO, E.L.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A.N. & CENTURION, J.F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. Pesq. Agropec. Bras., 43:255-260, 2008.
- SOUZA, E.F.C. & SORATTO, R.P. Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. R. Bras. Milho Sorgo, 5:395-405, 2006.
- STRIEDER, M.L.; SILVA, P.R.F.; ANGHINONI, I.; MEURER, E.J.; RAMBO, L. & ENDRIGO, P.C. Época de aplicação da primeira dose de nitrogênio em cobertura em milho e espécies antecessoras de cobertura de inverno. R. Bras. Ci. Solo, 30:879-890, 2006.
- WEBER, M.A. & MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. R. Bras. Ci. Solo, 3:429-437, 2009.