

**COBERTURAS VEGETAIS, MANEJO DO SOLO E DOSES DE
NITROGÊNIO EM COBERTURA NA CULTURA DO MILHO**

CLAUDINEI KAPPES

Engenheiro Agrônomo M.Sc.

COBERTURAS VEGETAIS, MANEJO DO SOLO E DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NA CULTURA DO MILHO

CLAUDINEI KAPPES

Engenheiro Agrônomo M.Sc.

Orientador: Prof. Dr. Orivaldo Arf

Co-orientador: Prof. Dr. João Antonio da Costa Andrade

Tese apresentada à UNESP, Câmpus de
Ilha Solteira, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção.

Ilha Solteira – São Paulo – Brasil

Março/2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP – Ilha Solteira.

Kappes, Claudinei.

K178c Coberturas vegetais, manejo do solo e doses de nitrogênio em
cobertura na cultura do milho / Claudinei Kappes. -- Ilha Solteira: [s.n.],
2012.

204 f.: il.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2012.

Orientador: Orivaldo Arf

Co-orientador: João Antonio da Costa Andrade

Inclui bibliografia

1. Milho. 2. Milheto. 3. Cerrados. 4. Crotalária. 5. Sistema plantio
direto. 6. Adubação nitrogenada. 7. Produtividade.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

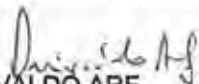
TÍTULO: Coberturas vegetais, manejo do solo e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho

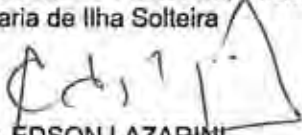
AUTOR: CLAUDINEI KAPPES


ORIENTADOR: Prof. Dr. ORIVALDO ARF


CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. JOAO ANTONIO DA COSTA ANDRADE

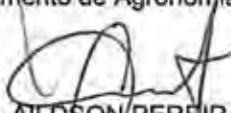
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA,
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ORIVALDO ARF
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. EDSON LAZARINI
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. MARCO EUSTAQUIO DE SA
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. MARCO ANTONIO CAMILLO DE CARVALHO
Departamento de Agronomia / UNEMAT - Universidade do Estado de Mato Grosso


Prof. Dr. AILDSON PEREIRA DUARTE
Centro de Grãos e Fibras / Instituto Agrônomo

Data da realização: 12 de março de 2012.

BIOGRAFIA DO AUTOR



Claudinei Kappes (KAPPES, C.), filho dos agricultores Nelson Roque Kappes e Celiria Maria Kappes, nasceu em 15 de maio de 1984 na cidade de Sinop, Estado de Mato Grosso (MT), Brasil. Cresceu desde o primeiro dia de vida na zona rural do município de Santa Carmem – MT, onde cursou o ensino fundamental (1991-1998) e médio (1999-2001) em escolas públicas. Em agosto de 2007 obteve o título de Engenheiro Agrônomo pela Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Câmpus de Alta Floresta – MT. Foi responsável técnico da Empresa Matogrossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural (EMPAER-MT) entre 2007 e 2008, escritório local de Santa Carmem – MT. Em março de 2010 obteve o título de Mestre em Agronomia, com especialidade em “Sistemas de Produção”, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP – Câmpus de Ilha Solteira). Ainda no referido mês, iniciou o curso de doutorado em Agronomia como aluno regular, vinculado ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP – Câmpus de Ilha Solteira). Foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Durante o doutorado participou de bancas examinadoras de Trabalhos de Conclusão de Curso de Agronomia e realizou estágio docência nas disciplinas de “Cultura de Cereais” e “Cultura de Plantas Oleaginosas”, ambas vinculadas ao Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-Economia da UNESP – Câmpus de Ilha Solteira. Desde junho de 2011 é Pesquisador em “Sistemas de Produção” da Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso (Fundação MT), Rondonópolis – MT, instituição na qual vem colocando em prática os conhecimentos e experiências obtidas ao longo da vida acadêmica.

Dedico,

Aos meus pais **Nelson** e **Celiria**, que me deram não somente a vida, mas a minha educação.

Obrigado meus pais, pelo apoio e incentivo nos momentos difíceis da minha vida, pelo exemplo de humildade, pelo carinho, pela dedicação, pela confiança, pela paciência e acima de tudo, pelo amor que vocês me deram em todas as fases de minha vida.

Por isso, devo muito à vocês pela pessoa que sou hoje.

Minha gratidão, amo vocês!

Ofereço,

Aos meus irmãos **Vanderlei** e **Volnei**, às minhas irmãs **Elisângela** e **Lizete**, aos meus avós paternos **Aloysio** (in memoriam) e **Josefina** (in memoriam), aos meus avós maternos **Arnoldo** (in memoriam) e **Delphina** (in memoriam), aos meus tios(as), aos meus sobrinhos(as) e primos(as) que, apesar da distância, sempre estiveram do meu lado e trabalharam incansavelmente, incentivando para a realização de mais esta conquista em minha vida profissional e científica.

E ainda,

... à todas as pessoas
que trabalham pelo progresso
da agricultura brasileira!

Agradecimentos

À Deus primeiramente, pela vida, por sempre me iluminar e me guiar e por ter me privilegiado e proporcionado a realização deste importante curso.

Aos meus pais pela dedicação, apoio e compreensão que me fortalecem a cada dia.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP – Câmpus de Ilha Solteira), pela oportunidade concedida para realização deste curso, permitindo a realização de um sonho pessoal, a obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Aos professores Dr. Orivaldo Arf e Dr. João Antonio da Costa Andrade, um agradecimento especial pelo exemplo de pessoa, pelo incentivo e interesse demonstrado como orientadores deste trabalho.

À todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UNESP – Câmpus de Ilha Solteira, pela amizade, comprometimento, dedicação e contribuição na minha formação acadêmica.

Aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP – Câmpus de Ilha Solteira, pelo exemplo de simplicidade e amizade e pelos esforços perante a realização deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de estudo concedida (Processo n°: 2009/14178-0).

Aos bibliotecários e funcionários da Seção de Pós-Graduação da UNESP – Câmpus de Ilha Solteira, pela dedicação e atenção concedida.

À todos os amigos(as) de Graduação e de Pós-Graduação em Agronomia da UNESP – Câmpus de Ilha Solteira, pela amizade e agradável convivência, respeito e contribuição que ofereceram ao meu crescimento como ser humano e prazer das vivências divididas nesse período oportuno.

Aos colegas de república: André, Carlos, Enzo, Guilherme, João Paulo e Marcelo pelo apoio, exemplos de companheirismo e pelos momentos de descontração proporcionados.

À todos meus familiares e amigos, pelo carinho, afeto e cumplicidade passados ao longo do meu desenvolvimento e pela torcida e apoio na realização deste curso.

Aos eternos colegas de Graduação e componentes da “família Zea mays” (III turma de Agronomia, Universidade do Estado de Mato Grosso – Câmpus de Alta Floresta), pela amizade e companheirismo convivido.

Enfim, desejo expressar os mais sinceros agradecimentos a todas as pessoas que, neste momento, imerecidamente não foram lembradas e aqui não mencionadas, de uma forma ou de outra, sabem que contribuíram e incentivaram a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!
Ilha Solteira, São Paulo, Brasil
março de 2012.
O Autor.

Poema do Milho – “Trecho”

(Cora Coralina)

.....

E o milho realizava o milagre genético de nascer:

Germina. Vence os inimigos,

Aponta aos milagres.

- Seis grãos na cova.

- Quatro na regra, dois de quebra,

Um canudinho enrolado.

Amarelo-pálido,

frágil, dourado, se levanta.

Cria sustância.

Passa a verde.

Liberta-se. Enraíza,

Abre folhas espaldeiradas.

Encorpa. Encana. Disciplina,

Com os poderes de Deus.

Jesus e São João

desceram de noite na roça,

botaram a bênção no milho,

E veio com eles

uma chuva maneira, criadeira, fininha,

uma chuva velhinha,

de cabelos brancos,

abençoando

a infância do milho.

.....

“O solo não é uma herança que

recebemos de nossos pais, mas sim,

um patrimônio que tomamos emprestado

de nossos filhos” (L. Brown).

KAPPES, C. **Coberturas vegetais, manejo do solo e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho**. 2012. 204 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2012.

RESUMO

Pesquisas são desenvolvidas buscando identificar a melhor dose de nitrogênio para o milho nos mais diferenciados sistemas de manejo do solo. Contudo, não há ainda concordância nos resultados, pois a dinâmica deste nutriente é influenciada pelo manejo do solo e pela cobertura vegetal. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de coberturas vegetais, sistemas de manejo do solo e doses de nitrogênio em cobertura no milho. Os experimentos foram conduzidos no município de Selvíria – MS, durante os anos agrícolas 2009/10 e 2010/11, em Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso (20° 20' S e 51° 24' W, com altitude de 340 m). Foram estabelecidos trinta e seis tratamentos com quatro repetições, em blocos casualizados, resultantes da combinação entre coberturas vegetais (milheto, crotalária e milheto + crotalária), manejo do solo (escarificador + “grade leve”, “grade pesada” + “grade leve” e sistema plantio direto) e doses de nitrogênio em cobertura (0, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ – fonte ureia). O híbrido de milho utilizado foi o DKB 350 YG[®], semeado no espaçamento de 0,9 m entre as linhas e o nitrogênio aplicado no estágio V₅. Os efeitos de cobertura vegetal e manejo do solo foram analisados pelo teste de Tukey e de dose pela análise de regressão. O milheto produz menor quantidade de massa seca em relação à crotalária, porém seus resíduos são mais persistentes no solo. A aplicação de nitrogênio em cobertura proporciona incremento da maioria das características morfológicas e nutricionais de plantas e dos componentes de produção do milho. A utilização de crotalária e de milheto + crotalária como antecessoras, associada à aplicação de 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura do milho sob sistema plantio direto, proporciona maior produtividade.

Palavras-chave: *Zea mays*. Milheto. Crotalária. Sistema plantio direto. Adubação nitrogenada. Produtividade.

KAPPES, C. **Cover crops, soil management and side-dressing nitrogen rates for maize crop**. 2012. 204 f. Thesis (Doctorate in Agronomy – Production Systems) – Faculty of Engineering, University of São Paulo State “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2012.

ABSTRACT

Research has been developed to identify the best nitrogen rate for maize in many types of soil management systems. However, there is no agreement on the results so far, because the dynamic of nitrogen is influenced by soil management system and cover crops. This work aimed to evaluate the influence of cover crops, soil management systems and side-dressing nitrogen rates for maize. The field trials were carried out in Selvíria, Mato Grosso do Sul State, Brazil, during the growing season of 2009/10 and 2010/11, on a clayey Rhodic Haplustox (20° 20' S and 51° 24' W, with altitude of 340 m). Thirty six treatments were established with four replications, in a randomized blocks design, with the combination of cover crops (millet, sunn hemp and millet + sunn hemp), soil management systems (chisel plow + levelling disking, heavy disking + levelling disking, and no-tillage system) and side-dressing nitrogen rates (0, 60, 90 and 120 kg ha⁻¹ – urea source). The hybrid of maize used was DKB 350 YG[®] sown in the spacing of 0.9 m between lines and the nitrogen applied at V₅ growth stage. The effects of cover crops and soil management were analyzed by Tukey test and nitrogen rates by regression analysis. The millet produces less amount of dry mass yield than sunn hemp, but its residues are more persistent on the soil surface. The side-dressing nitrogen application increases most of the morphological and plant nutritional characteristics and yield components of maize. Sunn hemp and millet + sunn hemp grown previously, associated with 90 kg ha⁻¹ side-dressing nitrogen application of maize under no-tillage system, provides higher grain yield.

Keywords: *Zea mays*. Millet. Sunn hemp. No-tillage system. Nitrogen fertilization. Yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Valores diários de precipitação pluvial, temperatura mínima e máxima do ar e umidade relativa (UR), registrados durante a condução dos experimentos. Selvíria – MS, Brasil (2009/10)	50
Figura 2-	Valores diários de precipitação pluvial, temperatura mínima e máxima do ar e umidade relativa (UR), registrados durante a condução dos experimentos. Selvíria – MS, Brasil (2010/11)	51
Figura 3-	Esquemática da parcela experimental. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	54
Figura 4-	Massa seca de parte aérea por planta (MS_{planta}) em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	104
Figura 5-	Massa seca de parte aérea por planta (MS_{planta}) em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	106
Figura 6-	Massa seca de parte aérea acumulada ($MS_{acumulada}$) em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	108
Figura 7-	Massa seca de parte aérea acumulada ($MS_{acumulada}$) em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	109
Figura 8-	Índice de clorofila foliar de plantas no estágio V_{10} em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	112

Figura 9- Índice de clorofila foliar de plantas no estágio V ₁₀ em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	113
Figura 10- Índice de clorofila foliar de plantas no florescimento em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	115
Figura 11- Índice de clorofila foliar de plantas no florescimento em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	117
Figura 12- Teor de nitrogênio foliar em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade ...	120
Figura 13- Teor de nitrogênio foliar em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade ...	122
Figura 14- Teor de nitrogênio foliar em função de manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade. Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto	124
Figura 15- Teor de fósforo foliar em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.....	125
Figura 16- Teor de fósforo foliar em função de manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade. Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto	127

Figura 17- Teor de nitrogênio na planta inteira em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	130
Figura 18- Teor de fósforo na planta inteira em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.....	132
Figura 19- Nitrogênio acumulado na massa seca de parte aérea em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	134
Figura 20- Fósforo acumulado na massa seca de parte aérea em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	136
Figura 21- Potássio acumulado na massa seca de parte aérea em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	137
Figura 22- Altura de planta em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	140
Figura 23- Altura de planta em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** e * – significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.....	142
Figura 24- Altura de inserção de espiga em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.....	145
Figura 25- Altura de inserção de espiga em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.....	146

Figura 26- Diâmetro de colmo em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	148
Figura 27- Diâmetro de colmo em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	149
Figura 28- Comprimento de espiga em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.....	152
Figura 29- Comprimento de espiga (CE) em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** e * – significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.....	154
Figura 30- Comprimento de espiga (CE) em função de manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade. Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.....	156
Figura 31- Diâmetro de espiga em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.....	158
Figura 32- Diâmetro de espiga em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.....	158
Figura 33- Massa de mil grãos em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	161
Figura 34- Massa de mil grãos em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** e * – significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.....	164

Figura 35- Produtividade em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	168
Figura 36- Produtividade em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade	172
Figura 37- Localização geográfica da área experimental. Selvíria – MS, Brasil (2009/10)	199
Figura 38- Semeadura das coberturas vegetais com semeadora específica para o sistema plantio direto (esquerda) e sistema de irrigação por aspersão do tipo “canhão” hidráulico auto-propelido (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	199
Figura 39- Cultura do milheto (esquerda) e da crotalária (direita), aos 15 dias após a emergência. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).....	200
Figura 40- Consórcio de milheto + crotalária aos 15 dias após a emergência (esquerda) e vista geral das coberturas vegetais aos 44 dias após a semeadura (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	200
Figura 41- Dessecação das coberturas vegetais com pulverizador tratorizado de barras (esquerda) e o seu manejo com desintegrador mecânico horizontal (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	200
Figura 42- Aplicação do calcário com distribuidor a lanço em área total (esquerda) e manejo do solo com implemento escarificador (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	201
Figura 43- Manejo do solo com “grade pesada” 14 x 32” (esquerda) e com “grade leve” 32 x 20” (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	201
Figura 44- Sistema plantio direto com excelente cobertura do solo (esquerda) e vista geral da área experimental após a realização do manejo do solo (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).....	201

Figura 45- Avaliações de produção de massa seca de parte aérea das coberturas vegetais (esquerda) e de persistência dos resíduos vegetais no sistema plantio direto (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	202
Figura 46- Semeadura do milho com semeadora específica para o sistema plantio direto (esquerda) e emergência de plântulas (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	202
Figura 47- Detalhe da adubação nitrogenada (esquerda) e plantas de milho apresentando a quinta folha expandida, momento da aplicação do nitrogênio em cobertura (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	202
Figura 48- Vista geral da cultura do milho aos 11 dias após a emergência (esquerda) e aos 53 dias após a emergência (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	203
Figura 49- Plantas de milho em florescimento pleno (esquerda) e espigas protegidas com sacos de papel do ataque de pássaros (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	203
Figura 50- Fragmentação das plantas de milho em desintegrador forrageiro (esquerda) e secagem do material em estufa com renovação e circulação forçada de ar (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	203
Figura 51- Estimativa do teor de clorofila foliar em plantas de milho com a utilização de clorofilômetro portátil modelo CFL 1030 (esquerda) e coleta do terço central do limbo de folha situada opostamente e abaixo da espiga principal (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	204
Figura 52- Determinações de altura de inserção de espiga com auxílio de régua graduada (esquerda) e de diâmetro de colmo com paquímetro digital modelo CD-6” CSX-B (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	204
Figura 53- Colheita do milho (esquerda) e trilha mecânica das espigas (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	204

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Histórico de exploração agrícola da área experimental nos três sistemas de manejo do solo estudados. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	48
Tabela 2-	Análise química do solo da área experimental na camada de 0,0 a 0,2 m nos três sistemas de manejo do solo estudados. Selvíria – MS, Brasil (2009/10)	49
Tabela 3-	Análise química do solo da área experimental na camada de 0,0 a 0,2 m nos três sistemas de manejo do solo estudados. Selvíria – MS, Brasil (2010/11)	49
Tabela 4-	Descrição sucinta dos tratamentos estudados nos experimentos. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	52
Tabela 5-	Atributos agronômicos e níveis de reações às doenças do híbrido de milho DKB 350 YG [®] . Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11) ..	53
Tabela 6-	Esquema da análise de variância para o delineamento em blocos ao acaso, esquema misto com faixas e fatorial. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	69
Tabela 7-	Resumo da análise de variância e valores médios de produção de massa seca de parte aérea (MSPA) e teor de nitrogênio nas coberturas vegetais sob diferentes manejos do solo. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	75
Tabela 8-	Resumo da análise de variância e valores médios de teores de fósforo e de potássio nas coberturas vegetais sob diferentes manejos do solo. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	76
Tabela 9-	Resumo da análise de variância e valores médios de nitrogênio (N_A), fósforo (P_A) e potássio acumulado (K_A) na massa seca de parte aérea de coberturas vegetais sob diferentes manejos do solo. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).....	77

Tabela 10- Resumo da análise de variância e valores médios de persistência dos resíduos de coberturas vegetais no sistema plantio direto sob diferentes doses de nitrogênio em cobertura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10).....	78
Tabela 11- Resumo da análise de variância e valores médios de persistência dos resíduos de coberturas vegetais no sistema plantio direto sob diferentes doses de nitrogênio em cobertura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).....	79
Tabela 12- Resumo da análise de variância e valores médios de população inicial (PIP) e final de plantas (PFP) em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).....	93
Tabela 13- Resumo da análise de variância e valores médios de massa seca de parte aérea por planta (MS_{planta}) e acumulada ($MS_{\text{acumulada}}$) em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	94
Tabela 14- Resumo da análise de variância e valores médios de índice de clorofila foliar nos estádios de desenvolvimento V_5 , V_{10} e florescimento em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).....	95
Tabela 15- Resumo da análise de variância e valores médios de teores de nitrogênio, fósforo e potássio foliar em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).....	96
Tabela 16- Resumo da análise de variância e valores médios de teores de nitrogênio (N_{PI}), fósforo (P_{PI}) e potássio na planta inteira (K_{PI}) e nitrogênio (N_A), fósforo (P_A) e potássio acumulado (K_A) na massa seca de parte aérea em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).....	97
Tabela 17- Resumo da análise de variância e valores médios de altura de planta e altura de inserção de espiga em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).....	98

Tabela 18- Resumo da análise de variância e valores médios de diâmetro de colmo e percentual de quebramento de planta em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	99
Tabela 19- Resumo da análise de variância e valores médios de comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE) e número de fileiras de grãos por espiga (FGE) em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11)	100
Tabela 20- Resumo da análise de variância e valores médios de massa de mil grãos (MMG) e produtividade em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).....	101
Tabela 21- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para índice de clorofila foliar de plantas de milho no florescimento. Selvíria – MS, Brasil (2009/10)	114
Tabela 22- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para índice de clorofila foliar de plantas de milho no florescimento. Selvíria – MS, Brasil (2010/11)	116
Tabela 23- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para teor de nitrogênio foliar em plantas de milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10).....	119
Tabela 24- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para teor de nitrogênio foliar em plantas de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).....	121
Tabela 25- Desdobramento da interação entre sistema de manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura para teor de nitrogênio foliar em plantas de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11)	123
Tabela 26- Desdobramento da interação entre sistema de manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura para teor de fósforo foliar em plantas de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11)	127

Tabela 27- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e manejo do solo para teor de potássio foliar em plantas de milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10).....	128
Tabela 28- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para altura de planta de milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10).....	139
Tabela 29- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para altura de planta de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).....	141
Tabela 30- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para comprimento de espiga de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).....	153
Tabela 31- Desdobramento da interação entre manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura para comprimento de espiga de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).....	155
Tabela 32- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para massa de mil grãos de milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10).....	160
Tabela 33- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e manejo do solo para massa de mil grãos de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).....	162
Tabela 34- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para massa de mil grãos de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).....	163
Tabela 35- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para produtividade de milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10).....	167
Tabela 36- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e manejo do solo para produtividade de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11)	169
Tabela 37- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para produtividade de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).....	170

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	24
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	26
2.1.	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO	26
2.2.	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO MILHO	29
2.3.	COBERTURAS VEGETAIS.....	32
2.4.	SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO	37
2.5.	NITROGÊNIO NA CULTURA DO MILHO	42
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	48
3.1.	ÁREA EXPERIMENTAL	48
3.2.	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	48
3.3.	CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA E DADOS CLIMÁTICOS	50
3.4.	TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	51
3.5.	CARACTERIZAÇÃO DO HÍBRIDO DE MILHO	52
3.6.	PARCELAS EXPERIMENTAIS	54
3.7.	IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	54
3.7.1.	ANO AGRÍCOLA 2009/10	55
3.7.1.1.	Coberturas vegetais	55
3.7.1.2.	Manejo do solo	56
3.7.1.3.	Cultura do milho	57
3.7.2.	ANO AGRÍCOLA 2010/11	59
3.7.2.1.	Coberturas vegetais	59
3.7.2.2.	Manejo do solo	60
3.7.2.3.	Cultura do milho	60
3.8.	AVALIAÇÕES FITOTÉCNICAS.....	61
3.8.1.	COBERTURAS VEGETAIS.....	61
3.8.1.1.	Produção de massa seca de parte aérea.....	62
3.8.1.2.	Teor de nitrogênio, fósforo e potássio	62

3.8.1.3.	Nitrogênio, fósforo e potássio acumulado	62
3.8.1.4.	Persistência dos resíduos vegetais no sistema plantio direto.....	63
3.8.2.	CULTURA DO MILHO	63
3.8.2.1.	População inicial e final de plantas.....	63
3.8.2.2.	Produção de massa seca de parte aérea	64
3.8.2.3.	Índice de clorofila foliar	64
3.8.2.4.	Teor de nitrogênio, fósforo e potássio foliar	65
3.8.2.5.	Teor de nitrogênio, fósforo e potássio na planta inteira.....	65
3.8.2.6.	Nitrogênio, fósforo e potássio acumulado	66
3.8.2.7.	Altura de planta	66
3.8.2.8.	Altura de inserção de espiga	66
3.8.2.9.	Diâmetro de colmo	67
3.8.2.10.	Percentual de quebra de planta.....	67
3.8.2.11.	Comprimento de espiga	67
3.8.2.12.	Diâmetro de espiga	67
3.8.2.13.	Número de fileiras de grãos por espiga	68
3.8.2.14.	Massa de mil grãos	68
3.8.2.15.	Produtividade.....	68
3.9.	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS	69
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
4.1.	CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO PERÍODO EXPERIMENTAL	71
4.2.	COBERTURAS VEGETAIS (2009/10 e 2010/11)	73
4.2.1.	Produção de massa seca de parte aérea	79
4.2.2.	Teor de nitrogênio.....	82
4.2.3.	Teor de fósforo.....	84
4.2.4.	Teor de potássio	84
4.2.5.	Nitrogênio acumulado	85
4.2.6.	Fósforo acumulado	87
4.2.7.	Potássio acumulado.....	87
4.2.8.	Persistência dos resíduos vegetais no sistema plantio direto.....	89
4.3.	CULTURA DO MILHO (2009/10 e 2010/11)	91
4.3.1	População inicial e final de plantas.....	102
4.3.2.	Produção de massa seca de parte aérea por planta	103

4.3.3.	Produção de massa seca de parte aérea acumulada.....	107
4.3.4.	Índice de clorofila foliar	110
4.3.5.	Teor de nitrogênio foliar	117
4.3.6.	Teor de fósforo foliar.....	125
4.3.7.	Teor de potássio foliar	128
4.3.8.	Teor de nitrogênio na planta inteira	129
4.3.9.	Teor de fósforo na planta inteira	131
4.3.10.	Teor de potássio na planta inteira.....	132
4.3.11.	Nitrogênio acumulado	133
4.3.12.	Fósforo acumulado	135
4.3.13.	Potássio acumulado.....	136
4.3.14.	Altura de planta.....	137
4.3.15.	Altura de inserção de espiga.....	144
4.3.16.	Diâmetro de colmo.....	147
4.3.17.	Percentual de quebramento de planta	150
4.3.18.	Comprimento de espiga	150
4.3.19.	Diâmetro de espiga.....	157
4.3.20.	Número de fileiras de grãos por espiga	159
4.3.21.	Massa de mil grãos.....	160
4.3.22.	Produtividade	166
4.4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	175
5.	CONCLUSÕES.....	177
	REFERÊNCIAS	178
	APÊNDICE – FOTOS DOS EXPERIMENTOS	198

1. INTRODUÇÃO

O milho representa um dos principais e mais tradicionais cereais cultivados em todo o Brasil, ocupando de maneira crescente posições significativas quanto ao valor da produção agropecuária, especialmente nos sistemas de produção mais aprimorados baseados na semeadura direta e na rotação de culturas. Com o crescente aumento do consumo mundial de milho, tanto para consumo humano quanto animal e atualmente para atender a demanda energética, existe pressão cada vez maior para o aumento de produtividade desse cereal. Contudo, a sua produtividade é complexa e depende da interação entre fatores genéticos, ambientais (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001) e de manejo. No Brasil, a produtividade média do milho é muito baixa, em decorrência de fatores ligados à fertilidade do solo, arranjo espacial de plantas (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004), uso de genótipos e práticas de manejo inadequadas (SANGOI et al., 2006).

O nitrogênio é absorvido em grande quantidade pelo milho, apresentando incrementos em várias características produtivas (OHLAND et al., 2005). Segundo Coelho e França (1995), para uma produtividade de 5.800 kg ha^{-1} , são extraídos pelo milho cerca de 100 kg ha^{-1} de nitrogênio, sendo que dessa quantidade, cerca de 75% é exportado pelos grãos. O aumento da dose de nitrogênio proporciona incremento na produtividade, porém, geralmente, os aproveitamentos de nitrogênio decrescem com o aumento das doses aplicadas, em vista do suprimento de nitrogênio exceder as necessidades da cultura. No caso do milho, o aproveitamento raramente ultrapassa 50% do nitrogênio aplicado como fertilizante mineral (LARA CABEZAS et al., 2004). Isto porque o nitrogênio aplicado no solo está sujeito a perdas por lixiviação, escoamento superficial, desnitrificação, volatilização da amônia e pela imobilização na biomassa microbiana (ALVA et al., 2006).

A dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta pode ser influenciada principalmente pelo manejo do solo, tipo de fertilizante, formas de manejo, condições edafoclimáticas (FIGUEIREDO et al., 2005; SANTOS et al., 2010b), cobertura vegetal e microfauna do solo. Pesquisas comparativas entre manejo do solo (sistema plantio direto, cultivo mínimo e sistema convencional) têm evidenciado que a diferença na dinâmica do nitrogênio entre estes sistemas é capaz de refletir na

dose a ser aplicada. Figueiredo et al. (2005) avaliaram sistemas de manejo do solo na absorção de nitrogênio pelo milho no Cerrado e verificaram que os sistemas de manejo influenciaram a dinâmica de absorção de nitrogênio pela planta, sendo que sob plantio direto e manejo com escarificador, houve maior eficiência de recuperação no nitrogênio oriundo do fertilizante. Além disso, os sistemas de manejo do solo afetam diferentemente a sua densidade, porosidade e o armazenamento de água ao longo do perfil, interferindo diretamente no desenvolvimento da cultura. Conforme Kluthcouski et al. (2000), a produtividade, na maioria das culturas sob diferentes manejos do solo apresenta, entretanto, comportamentos variáveis.

Além do nitrogênio mineral, outra opção para suprir as quantidades insuficientes de nitrogênio no solo pode ser a utilização de coberturas vegetais. Entre as espécies utilizadas, destacam-se as pertencentes à família fabaceae. Com menor relação C/N comparativamente às poáceas e sua capacidade de fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico, as fabáceas aumentam a disponibilidade de nitrogênio no solo, a absorção de nitrogênio pela planta e a produtividade de milho (OHLAND et al., 2005), podendo contribuir na redução de aplicação de nitrogênio mineral. As poáceas contribuem na manutenção de níveis maiores de matéria orgânica no solo, comparadas às fabáceas, devido a sua alta relação C/N e ao alto teor de lignina na sua composição, formando húmus de maior estabilidade; porém, podem apresentar problemas em relação à disponibilidade de nitrogênio.

Uma alternativa que permite aliar as características desejáveis das poáceas e fabáceas é a consorciação entre elas. Quando utilizada, há combinação do maior potencial das poáceas em ciclar nutrientes com a capacidade das fabáceas em fixar o nitrogênio atmosférico, resultando numa massa seca com relação C/N intermediária àquela das culturas isoladas. Diversas pesquisas relatam o efeito positivo de coberturas vegetais sobre a produtividade de milho (SILVA et al., 2006b; CARVALHO et al., 2007; SOUSA NETO et al., 2008) e vários pesquisadores mencionam a contribuição do nitrogênio remanescente dos resíduos culturais.

A utilização de coberturas vegetais, associada a um sistema que possibilite melhorar as condições do solo e o manejo do nitrogênio, pode ser importante para o aumento da produtividade de milho. Diante do exposto, propôs-se o presente estudo com o objetivo de avaliar a influência de coberturas vegetais, sistemas de manejo do solo e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO

A cultura do milho é uma das mais importantes no mundo em função de sua quantidade produzida, composição química e valor nutritivo dos grãos (FANCELLI; DOURADO NETO, 1996), sendo utilizado na alimentação animal na forma in natura (forragem conservada para o período de seca e fabricação de farelos). O grão é considerado um alimento energético, devido à sua composição predominantemente de carboidratos e lipídios. A proteína presente nesse cereal, em quantidade reduzida, possui qualidade inferior a de outras fontes vegetais (PAES, 2008). O milho fornece, também, produtos para a alimentação humana (farinha, óleo, etc.) e matérias-primas para a produção de etanol e para a agroindústria, principalmente devido à quantidade de reservas acumuladas nos grãos (DEMÉTRIO, 2008).

A importância econômica da cultura é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, sendo que o uso do milho em grão na alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal (cerca de 70% no mundo). Nos Estados Unidos, cerca de 50% é destinado a este fim, enquanto que no Brasil, varia de 60 a 80% (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004; DUARTE et al., 2010). No mundo, as principais utilizações do milho são na criação de aves e de suínos. Existem previsões de que a demanda mundial de carnes continue crescendo e estimativas apontam um consumo superior a 110 milhões de toneladas de carne suína e quase 70 milhões de toneladas de carne de frango até o ano de 2015 (GARCIA et al., 2008; DUARTE et al., 2010). Em termos gerais, apenas 15% de toda a produção mundial de milho destina-se ao consumo humano.

O milho é uma das plantas mais eficientes na conversão de energia radiante em massa seca, visto que uma semente de 260 mg pode resultar, em um período de 140 dias, em até 250 g de grãos por planta (FANCELLI; DOURADO NETO, 1996). Isto é importante para o Brasil, que está situado em uma região tropical, fato que facilita o aproveitamento da luz solar. Outro ponto relevante é aproveitar o grande

potencial que a espécie tem para a alimentação, já que uma parcela representativa da população brasileira vive em condições de desnutrição.

O mercado mundial de milho é abastecido basicamente por três Países: os Estados Unidos (54 milhões de toneladas exportadas, no ano agrícola 2010/11), a Argentina (15 milhões de toneladas, no ano agrícola 2010/11) e, mais recentemente, o Brasil (11 milhões de toneladas, no ano agrícola 2010/11) (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA, 2011). A principal vantagem dos Estados Unidos e da Argentina, em relação ao Brasil, é de terem logística favorável, que no caso dos Estados Unidos é decorrente das excelentes estruturas de transporte e da Argentina pela proximidade das áreas de produção dos portos. O Brasil participa deste mercado, porém, a instabilidade cambial e as deficiências da estrutura de transporte até os portos têm prejudicado o País no comércio internacional de milho (GARCIA et al., 2008).

Os principais importadores de milho, no ano agrícola 2010/11, foram o Japão (16 milhões de toneladas), a Coréia do Sul (8 milhões de toneladas), o México (8 milhões de toneladas) e o Egito (6 milhões de toneladas) (USDA, 2011). Outros importadores relevantes são os Países do Sudeste da Ásia e a comunidade Européia. Nesses dois últimos casos, além das importações, ocorre um grande montante de trocas entre os Países que compõem cada um desses blocos (GARCIA et al., 2008).

O milho foi inicialmente cultivado extensamente em pequenas propriedades, com utilização “*in situ*” dos grãos para alimentação animal. Com a criação intensiva de aves e suínos em grandes lotes, fora das propriedades agrícolas que produzem milho, a expansão da cultura ocorreu em propriedades de porte médio que se dedicavam ao cultivo do cereal para o comércio de grãos. Nestas, além da importância como fonte de renda, a cultura do milho foi essencial para viabilização do sistema plantio direto, devido à sua elevada produção de massa seca (MUNDSTOCK; SILVA, 2005). Atualmente é cultivado em praticamente todo o território brasileiro, sendo que somente no ano agrícola 2010/11, 38% da produção total se concentrou nas regiões Sul, 29% no Centro Oeste e 19% no Sudeste (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2011). Segundo Mattoso et al. (2006), dado ao baixo preço de mercado do milho, os custos de transporte influenciam a remuneração da produção obtida, principalmente em regiões distantes dos pontos de consumo e de portos, reduzindo o interesse no

deslocamento da produção as maiores distâncias ou em condições que a logística de transporte é desfavorável.

A produção de milho no Brasil tem-se caracterizado pela divisão em duas épocas de semeadura. A semeadura de verão ou primeira safra é realizada na época tradicional, durante o período chuvoso, que varia entre fins de agosto na região Sul até os meses de outubro a novembro no Sudeste e no Centro Oeste. A segunda safra, que inclui a “safrinha”, é caracterizada pela semeadura entre os meses de janeiro e fevereiro (março e mais adiante em sistemas irrigados, com produtividades semelhantes à primeira época), após a colheita da safra normal (quase sempre depois da soja precoce), visando o aproveitamento das chuvas remanescentes antes do período da seca, com predomínio na região Centro Oeste. Verifica-se um decréscimo na área cultivada no período da primeira safra, em decorrência da concorrência com a soja, o que tem sido parcialmente compensado pelo aumento de área cultivada na “safrinha” (GARCIA et al., 2008).

A modalidade de cultivo “safrinha” tem adquirido importância nos últimos anos em consequência das poucas alternativas econômicas viáveis para a safra de outono/inverno, constituindo-se em instrumento fundamental para o complemento no abastecimento do milho no País (SHIOGA; OLIVEIRA; GERAGE, 2004). Apesar de apresentar potencial produtivo menor que a do milho de primeira safra (DUARTE, 2004), nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, a produção na “safrinha” é a principal. No ano agrícola 2010/11, a área brasileira cultivada com milho segunda safra atingiu 5,7 milhões de hectares, sendo que Mato Grosso cultivou 1,8 milhões de hectares e obteve produtividade média de 3.900 kg ha⁻¹ (CONAB, 2011).

No Brasil, o milho destaca-se pela grande quantidade produzida, sendo superado apenas pela soja (SOUZA; BRAGA, 2004). O País é o terceiro maior produtor mundial de milho (57 milhões de toneladas produzidas, no ano agrícola 2010/11), depois dos Estados Unidos (primeiro lugar – 316 milhões de toneladas, no ano agrícola 2010/11) e China (segundo lugar – 177 milhões de toneladas, no ano agrícola 2010/11) (USDA, 2011). Considerando a produção de 57 milhões de toneladas (milho total – primeira e segunda safra), obtida em 13,4 milhões de hectares no ano agrícola 2010/11 (CONAB, 2001; USDA, 2011), o Estado do Paraná liderou o ranking nacional com 12,6 milhões de toneladas, seguido de Mato Grosso com 7,4 milhões de toneladas, de Minas Gerais com 6,3 milhões de toneladas, de Goiás com 5,3 milhões de toneladas e de São Paulo com 4,4 milhões de toneladas.

A cultura do milho tem apresentado importantes mudanças tecnológicas, com aumentos significativos na produtividade. Nos últimos 20 anos, a área brasileira cultivada com milho praticamente se manteve estagnada e os ganhos de produção se devem ao aumento de produtividade, com destaque para a região do Cerrado. Em contraste com a produção total, que é a terceira do mundo e representa 6% da oferta mundial, a produtividade média nacional é muito baixa quando comparada as produtividades superiores a 15.000 kg ha⁻¹ obtidas por Argenta et al. (2003a) e por Sangoi et al. (2003) em trabalhos de pesquisa conduzidos nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina ou as produtividades de 10.000 a 12.000 kg ha⁻¹ registradas em lavouras comerciais conduzidas sob alto nível tecnológico, no Estado do Paraná. Carvalho (2007) cita que algumas lavouras brasileiras chegam a ultrapassar a produtividade média comumente obtida nos Estados Unidos.

A produtividade média de milho nacional não reflete o bom nível tecnológico já alcançado por boa parte dos agricultores brasileiros voltados para lavouras comerciais, uma vez que as médias são obtidas nas mais diferentes regiões, em lavouras com diferentes sistemas de cultivos, finalidades e nível tecnológico (DEMÉTRIO, 2008; GARCIA et al., 2008). De modo geral, a baixa produtividade das lavouras de milho no Brasil ocorre em função de fatores ligados às condições de precipitação pluvial, temperatura do ar, radiação solar, arranjo espacial de plantas, fertilidade do solo (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004) e dentre outros. Esse fato não se deve apenas aos baixos níveis de nutrientes presentes nos solos, mas também ao uso inadequado de calagem e adubações, principalmente com nitrogênio e potássio, e também à alta capacidade extrativa do milho colhido para produção de grãos e forragem.

2.2. ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO MILHO

A planta de milho é anual, normalmente robusta, estando classificada como monocotiledônea, pertencente à divisão *Magnoliophyta*, classe *Liliopsida*, subclasse *Commelinidae*, ordem *Poales*, família *Poaceae*, subfamília *Panicoideae*, tribo *Andropogonea*, gênero *Zea*, sendo o nome científico da espécie *Zea mays* (L.).

Provavelmente, o milho é a mais importante planta comercial com origem nas Américas. Há indicações de que sua origem tenha sido no México, América Central ou Sudoeste dos Estados Unidos. É uma das culturas mais antigas do mundo, havendo provas, por escavações arqueológicas e geológicas, e medições por desintegração radioativa, de que é cultivado há pelo menos 5.000 anos. Logo depois do descobrimento da América, foi levado para a Europa, onde era cultivado em jardins, até que seu valor alimentício tornou-se conhecido (DUARTE et al., 2010).

Mundialmente, o milho é cultivado entre as latitudes 58° Norte e 40° Sul, distribuído nas mais diversas altitudes, encontrando-se desde localidades situadas abaixo do nível do mar até regiões com mais de 2.500 m de altitude (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004). Porém, para se desenvolver, o milho necessita de calor e umidade adequada, uma vez que é uma cultura de origem tropical. Em regiões de clima subtropical, os fatores ambientais como as variações na disponibilidade térmica e de radiação solar, exercem grande influência sobre o desenvolvimento fenológico do milho. A temperatura do ar é o elemento meteorológico que melhor explica a duração dos subperíodos de desenvolvimento desta cultura, havendo relação linear entre a duração destes subperíodos e o desenvolvimento da planta (LOZADA; ANGELOCCI, 1999).

O ciclo da cultura varia entre 100 e 180 dias, em função da caracterização dos genótipos (superprecoce, precoce e tardio) e pode apresentar variações com a temperatura do ar, conforme ressaltado por Lozada e Angelocci (1999) e Rezende et al. (2004). Quando as temperaturas médias do ar durante o período de desenvolvimento são superiores a 20 °C, o ciclo dos genótipos precoces varia de 80 a 110 dias, enquanto que o ciclo dos genótipos médios varia de 110 a 140 dias para atingir a fase de maturidade fisiológica. Quando as temperaturas médias do ar são inferiores a 20 °C, o ciclo aumenta de 10 a 20 dias para cada 0,5 °C de diminuição de temperatura, dependendo do híbrido, ressaltando que a 15 °C o ciclo da cultura do milho varia de 200 a 300 dias.

Embora o milho responda à interação de todos os elementos climáticos, pode-se considerar que a precipitação pluvial, a temperatura do ar e a radiação solar, são os que mais influenciam, pois atuam diretamente nas atividades fisiológicas, interferindo na produção de massa seca e de grãos (BRACHTVOGEL et al., 2009). Por pertencer ao grupo de plantas C₄ (LANDAU; SANS; SANTANA, 2010), o milho responde com elevadas produtividades ao aumento da quantidade de

radiação solar, por possuir mecanismo fotossintético que utiliza o gás carbônico da atmosfera com mais eficiência. Isso ocorre porque no processo fotossintético destas plantas, o gás carbônico é continuamente concentrado nas células da bainha vascular das folhas (fonte) sendo redistribuído para locais onde serão estocados ou metabolizados (dreno). Esta relação fonte-dreno pode ser alterada pelas condições de solo e de clima, condição fisiológica e nível de estresse da cultura.

O milho tende a expressar sua elevada produtividade quando a máxima área foliar coincidir com a maior disponibilidade de radiação solar, desde que não haja déficit hídrico. Essa condição permite a máxima fotossíntese, porém aumenta a necessidade hídrica da cultura, já que o elevado fluxo energético incidente também eleva a evapotranspiração (GALON et al., 2010). Quando o déficit hídrico ocorre durante o florescimento (período crítico da cultura), a produtividade é afetada, reduzindo, principalmente, o número de grãos por espiga (BERGONCI et al., 2001). Nessas condições, o uso da irrigação torna-se fundamental, pois é nessa fase que ocorrem os maiores efeitos do déficit hídrico e também a maior eficiência do uso da irrigação, tanto na produção de massa seca quanto na produtividade.

Ao redor do período da antese, geralmente a produção de fotoassimilados do milho é maior que aquela demandada pelos órgãos reprodutivos, sendo o seu excesso armazenado como reserva, principalmente nos colmos e bainhas. Posteriormente, durante o período de desenvolvimento intenso dos grãos, se a produção de fotoassimilados for insuficiente para atender a demanda dos grãos, as reservas podem ser remobilizadas e utilizadas como fonte suplementar (MACHADO et al., 1982). Desta forma, para Ruget (1993), o colmo é uma importante estrutura de armazenamento temporário de açúcares nas primeiras semanas após a fertilização dos grãos, quando a capacidade fotossintética da planta é máxima e a demanda da espiga por fotoassimilados é pequena.

Pode-se então dizer que o eficiente transporte de materiais produzidos e acumulados nas folhas, em direção aos grãos em formação, é de grande importância para garantir alta produtividade. No entanto, havendo dreno forte, é possível alcançar produtividades satisfatórias mesmo com efeito da competição intra e interespecífica das plantas, causadas pelo aumento da densidade populacional e diminuição do espaçamento entre as linhas, mediante a redistribuição de assimilados acumulados em outros órgãos da planta. Neste contexto, Rajcan e Tollenaar (1999) mencionam que os colmos são estruturas modeladoras de grande

importância para a definição da produtividade quando a planta passa por qualquer tipo de estresse na fase reprodutiva. Isto significa dizer que o colmo pode atuar como órgão equilibrador da limitação de fonte, promovendo a remobilização dos carboidratos de reserva armazenados até o início do enchimento dos grãos.

Em termos de exigência nutricional da cultura, a importância do nitrogênio e do potássio sobressai quando o sistema de produção agrícola passa de extrativa, com baixas produtividades, para uma agricultura intensiva e tecnificada, com o uso de irrigação. Em condições de baixa produtividade, em que as exigências nutricionais são menores, mesmo uma modesta contribuição do nitrogênio e do potássio suprida pelo solo pode ser suficiente para eliminar o efeito da adubação com estes nutrientes (COELHO; FRANÇA, 1995). Todavia, evidencia-se a importância de que, no manejo de fertilizantes, o conhecimento da demanda de nutrientes durante o ciclo da cultura contribui para maior eficiência da adubação.

O nitrogênio é importante no início do desenvolvimento da cultura do milho. No entanto, encontra-se em quantidades insuficientes nos solos, especialmente nos de classe textural arenosa, tornando fundamental o seu fornecimento para obter produtividades satisfatórias (BELARMINO et al., 2003). Simplesmente aplicar o fertilizante nitrogenado no solo para a cultura absorver não implica em boas produtividades; é necessário obter eficiência da adubação. A resposta da cultura ao fertilizante depende, além do suprimento de nitrogênio do solo, da dose aplicada, das características da planta e do solo, do histórico e do manejo do solo da área, ou seja, depende diretamente da forma como a adubação foi realizada e das condições edafoclimáticas. Além do fornecimento de nitrogênio mineral, outra solução para suprir as quantidades insuficientes do nutriente no solo pode ser com o uso de coberturas vegetais.

2.3. COBERTURAS VEGETAIS

As regiões Norte, Nordeste e Noroeste do Estado de São Paulo, bem como a região do Cerrado que abrange outros Estados, apresentam inverno seco, o que compromete o cultivo de coberturas vegetais com finalidade de produção de massa

seca e melhoria das propriedades do solo, da forma que tem sido realizado com sucesso no Sul do País (SOUSA NETO et al., 2008). Nestas regiões, deve-se utilizar espécies que apresentem características peculiares, como rápido desenvolvimento inicial e maior tolerância ao déficit hídrico (CRUZ et al., 2008a). Contudo, pesquisas têm demonstrado vantagens no cultivo de coberturas vegetais em épocas marginais (início e final das chuvas), pois, apesar da baixa produção de massa seca, não compete com a cultura comercial (AMABILE; FANCELLI; CARVALHO, 2000; GUIMARÃES et al., 2003; CALEGARI, 2004; CARVALHO et al., 2004).

Segundo Suzuki e Alves (2006), uma das alternativas é a semeadura de espécies de cobertura no início da primavera, antes da cultura principal, no início do período das chuvas. Além da produção de massa seca, que viabiliza o sistema plantio direto, coberturas vegetais cultivadas em pré-safra, quando fabáceas, podem fornecer nitrogênio e aumentar a produtividade de milho, conforme constatado por Bertin, Andrioli e Centurion (2005).

Além do aspecto quantidade, alguns esforços de pesquisa têm sido direcionados à avaliação da qualidade da massa seca proveniente das mais diversas espécies de coberturas vegetais. A capacidade de reciclagem de nutrientes, principalmente de camadas mais profundas, a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes para a cultura comercial, bem como a capacidade de fixação biológica de nitrogênio têm sido exploradas. Entre as espécies utilizadas com o objetivo de introdução de nitrogênio no sistema de produção agrícola, destacam-se as pertencentes à família fabaceae.

A família fabaceae é a terceira maior dentro das angiospermas e é composta por espécies que apresentam características diversas quanto ao ciclo vegetativo, produção de massa seca, porte e exigência em relação a clima e solo (BARRETO; FERNANDES, 2001). As fabáceas apresentam menor relação C/N comparativamente às poáceas e devido a sua capacidade de fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico, contribuem para o aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo, da absorção de nitrogênio pela planta e da produtividade de milho (OHLAND et al., 2005), assim como o melhor aproveitamento dos fertilizantes aplicados, podendo refletir na redução de aplicação de nitrogênio mineral. Por outro lado, as fabáceas apresentam o inconveniente da sua rápida decomposição, o que propicia baixa persistência dos resíduos vegetais na superfície do solo (TEIXEIRA et al., 2009) e conseqüentemente, menor proteção.

A simbiose de bactérias fixadoras de nitrogênio em fabáceas caracteriza-se pela formação de estruturas hipertróficas no sistema radicular denominadas nódulos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). De modo geral, as restrições ao processo de fixação biológica de nitrogênio, por essas plantas, estão mais associadas a problemas químicos do solo, como baixos teores de nutrientes, principalmente fósforo, acidez e altos teores de alumínio, do que propriamente pela ausência dos rizóbios no solo (BARRETO; FERNANDES, 2001).

As poáceas contribuem na manutenção de níveis maiores de matéria orgânica no solo, comparadas às fabáceas, devido a sua alta relação C/N e ao alto teor de lignina na sua composição, formando húmus de maior estabilidade; porém, podem apresentar problemas em relação à disponibilidade de nitrogênio devido à decomposição de seus resíduos ser lenta e à imobilização microbiana. A ocorrência de deficiência de nitrogênio é facilitada, dessa forma, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, com consequentes perdas de produtividade de milho (BORTOLINI; SILVA; ARGENTA, 2000).

Uma alternativa que permite aliar as características desejáveis das poáceas e das fabáceas é a consorciação entre elas. Quando essa estratégia é utilizada, há combinação do maior potencial das poáceas em ciclar nutrientes com a capacidade das fabáceas em fixar o nitrogênio atmosférico, resultando numa massa seca com relação C/N intermediária àquela das culturas isoladas (HEINRICHS et al., 2001), proporcionando cobertura do solo por maior período de tempo e sincronia entre fornecimento e demanda de nitrogênio pela cultura. Outras vantagens proporcionadas pelo consórcio são destacadas por Aita et al. (2001): (i) maior produção de massa seca em relação ao cultivo isolado de cada espécie; (ii) maior estímulo na fixação biológica de nitrogênio atmosférico pela fabácea e; (iii) maior eficiência na utilização da água e dos nutrientes do solo, devido à exploração de diferentes volumes de solo por sistemas radiculares distintos. Entretanto, para a utilização do consórcio em regiões com temperaturas do ar mais elevadas, é necessária a adaptação da tecnologia, por meio da identificação de combinações entre espécies mais adaptadas, além do entendimento da dinâmica de decomposição do material e da imobilização/mineralização de nutrientes no solo (TEIXEIRA et al., 2009).

Dentre as poáceas utilizadas como cobertura vegetal, destaca-se o milheto, devido ao alto acúmulo de nutrientes, da produção de massa seca em curto período

de tempo, além da decomposição mais lenta, que possibilita melhor proteção do solo (BORTOLINI; SILVA; ARGENTA, 2000). Braz et al. (2004) concluíram que, em comparação com a *Brachiaria brizantha*, cv. Marandú, e o *Panicum maximum*, cv. Mombaça, o milheto apresentou, em menor período de tempo (em torno de 55 dias após a emergência), maior acúmulo de macro e micronutrientes. Além das características intrínsecas da espécie, o ambiente é importante fator na decomposição dos resíduos. De acordo com Kliemann, Braz e Silveira (2006), apesar de o milheto possuir relação C/N próxima a 30/1, se manejado no florescimento e emborrachamento, a massa seca de milheto tem apresentado alta taxa de decomposição nos Cerrados, dado o clima quente e chuvoso, dificultando o seu acúmulo em superfície.

Com relação às fabáceas, destacam-se a *Crotalaria juncea*, a *Crotalaria spectabilis* e a *Crotalaria ochroleuca*. Originária da Ásia Tropical, a *Crotalaria juncea* apresenta ampla adaptação às regiões tropicais do mundo. Tem hábito de desenvolvimento arbustivo, ereto, atingindo 200 a 300 cm de altura. Dentre as principais características de interesse, citam-se a alta produção de massa seca, a fixação biológica de nitrogênio, a velocidade de desenvolvimento inicial muito rápida (FREITAS et al., 2003; FORMENTINI et al., 2008; KAPPES, 2011), além do potencial de manejo de nematóides. De acordo com Wutke (1993), a *Crotalaria juncea* pode fixar de 150 a 165 kg ha⁻¹ de nitrogênio por ciclo, podendo chegar a 450 kg ha⁻¹ em certas situações, ciclando 41 e 217 kg ha⁻¹ de fósforo (P₂O₅) e potássio (K₂O), respectivamente. Aos 130 dias, pode apresentar raízes até 4,5 m de profundidade. Tem uma produtividade entre 40.000 a 60.000 kg ha⁻¹ de massa verde e entre 6.000 a 8.000 kg ha⁻¹ de massa seca por ciclo (FORMENTINI et al., 2008). Apesar das inúmeras vantagens que a crotalária pode proporcionar ao setor agrícola, o entrave principal ao seu cultivo ainda está relacionada à baixa disponibilidade de sementes no mercado e ao próprio custo. Isso acontece devido principalmente a dois fatores: dificuldade no processo de colheita mecanizada e maturação desuniforme das sementes (KAPPES, 2011).

Na escolha de espécies a serem recomendadas para determinada região, deve-se procurar combinações dos fatores que atendam às exigências locais, dando-se preferência àquelas que produzam maior volume de massa seca, estejam menos sujeitas ao ataque de pragas e doenças, possuam alta capacidade de resistir

ao déficit hídrico, ciclar nutrientes, sementes relativamente uniformes e fáceis de semear, manualmente ou por meio de máquinas (BARRETO; FERNANDES, 2001) e baixo custo de implantação.

O manejo das coberturas vegetais varia de acordo com a sua finalidade. Se o objetivo é a cobertura do solo, deve-se escolher plantas que possuam maior relação C/N, para que apresentem decomposição mais lenta, devendo ficar sobre a superfície do solo. Se a finalidade é o fornecimento de nutrientes, em curto espaço de tempo para a cultura sucessora, deve-se optar por plantas que apresentam menor relação C/N.

As poáceas, por apresentarem, de maneira geral, maior exigência em nitrogênio, quando cultivadas em sucessão a crotalária podem ter aumentos expressivos de produtividade, como, por exemplo, o milho (KAPPES, 2011). Diversas pesquisas relatam o efeito positivo de coberturas vegetais sobre a produtividade de milho (SILVA et al., 2006b; CARVALHO et al., 2007; SOUSA NETO et al., 2008), sendo que vários pesquisadores mencionam a contribuição do nitrogênio remanescente dos resíduos culturais. Os efeitos benéficos da utilização de coberturas vegetais são diversos, entre eles, o melhor aproveitamento do nitrogênio fertilizante e também o fornecimento de nitrogênio remanescente da parte aérea das coberturas vegetais. Segundo Silva et al. (2005), o aproveitamento do nitrogênio dos resíduos vegetais pelo milho foi na seguinte ordem: crotalária > milheto > massa seca de milho, porém a maior parte do nitrogênio dos resíduos vegetais não foi absorvida pelo milho.

Silva et al. (2006b) concluíram que o cultivo do milho em sucessão à crotalária proporcionou maior produtividade, quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante, absorção e recuperação do nitrogênio em relação ao pousio e ao milheto. Sousa Neto et al. (2008), avaliando coberturas vegetais em pré-semicolonia sobre a produtividade de milho e os atributos físicos do solo concluíram que as maiores produtividades foram alcançadas quando se utilizou crotalária e milheto em relação ao manejo convencional (“grade pesada” + “grade leve”), fato que pode ser explicado pela maior estabilidade dos agregados no solo.

Conforme Strieder et al. (2006), no milho cultivado em sucessão a espécies com alta liberação de nitrogênio logo após seu manejo, pode-se admitir a redução no aporte de nitrogênio nos estádios iniciais de desenvolvimento e, ou, retardar a época de aplicação da primeira dose de nitrogênio em cobertura, estratégia que a

atual indicação de nitrogênio para o milho não considera. Com aplicação de nitrogênio em estádios mais avançados de desenvolvimento, quando o sistema radicular está mais desenvolvido, pode-se melhorar o aproveitamento do nitrogênio liberado pela cultura antecessora e do aplicado via adubação mineral, reduzindo perdas e contaminação dos recursos naturais, fato que é cada vez mais importante nos dias atuais ao se buscar sustentabilidade dos sistemas produtivos. Por outro lado, se o milho não for semeado logo após o manejo de coberturas vegetais que apresentem alta liberação de nitrogênio, presente em sua massa seca, parte significativa desse nitrogênio pode ser perdida para camadas mais profundas do solo, tornando-se indisponível às plantas.

Atualmente, com a utilização do sistema plantio direto, as coberturas vegetais podem ser consideradas recursos naturais de extrema importância, devido ao considerável aporte de massa seca e proteção do solo, incremento de matéria orgânica e melhorias das características física, químicas e biológicas do solo, além de serem alternativas nos programas de rotação de culturas.

2.4. SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO

A estabilidade e a sustentabilidade de sistemas de produção agrícola são preocupações cada vez mais constantes para toda a sociedade. Os agricultores necessitam ter garantida sua sobrevivência econômica e a sociedade depende da produção agrícola para sua própria existência. Essa estabilidade, por sua vez, somente pode ser mantida se houver uso adequado e racional dos recursos naturais, especialmente do solo e da água (VIANA et al., 2008).

De acordo com Chrisóstomo et al. (2006), o solo é componente essencial de agroecossistemas e deve ser encarado como uma *commoditie* ambiental, de modo que sua capacidade produtiva e sua qualidade devem ser mantidas e/ou melhoradas. Suas propriedades físicas, químicas e biológicas, bem como processos relacionados a elas, devem ser preservados de maneira que o solo seja capaz de prover meio para o desenvolvimento das plantas, de regular a distribuição da água no ambiente e de servir como um tampão ambiental na formação, atenuação e

degradação de produtos danosos ao ambiente (SCHOENHOLTZ; VAN MIEGROET; BURGER, 2000). Estes autores complementam dizendo que o aporte contínuo de resíduos vegetais na superfície do solo e, por consequência, de carbono e de nitrogênio, contribuem significativamente para a qualidade do solo. A recuperação do teor de matéria orgânica do solo pode ser obtida com o uso de sistemas conservacionistas de produção agrícola, que reduzem o revolvimento do solo e pela adoção de sistemas de rotação de culturas com alto aporte de resíduos ao solo.

Nas regiões tropicais, os sistemas de produção agrícola que envolve a pulverização da camada superficial do solo pelo manejo, promovem a decomposição e a queima acelerada dos componentes orgânicos tornando-os mais sujeitos às variações rápidas que afetam negativamente o desenvolvimento da planta (ARF et al., 2007). Os solos sob cultivo devem ser manejados de modo a alterar o mínimo possível as características físicas e químicas, especialmente aquelas que afetam a infiltração e a retenção de água, como porosidade e agregação.

Os sistemas de manejo do solo afetam diferentemente a sua densidade, porosidade e o armazenamento de água ao longo do perfil, interferindo diretamente no desenvolvimento da cultura. Conforme Kluthcouski et al. (2000), a produtividade, na maioria das culturas sob diferentes manejos do solo apresenta, entretanto, comportamentos variáveis.

No processo de produção agrícola há necessidade de que o solo esteja em condições físicas, químicas e biológicas adequadas para o desenvolvimento das culturas. O manejo do solo visa alterar o estado físico, químico e biológico de forma a garantir melhores condições para o desenvolvimento das plantas. Todavia, sob a ação de agentes naturais tais como chuvas e ventos, o solo pode perder parte dos seus nutrientes por erosão quando não é manejado corretamente.

O manejo convencional do solo consiste no revolvimento de camadas superficiais com o intuito de incorporar corretivos e fertilizantes e aumentar os espaços porosos, e com isso, aumentar a permeabilidade e o armazenamento de ar e água, facilitando o desenvolvimento das raízes das plantas. O revolvimento do solo promove o corte e o enterrio das plantas daninhas e auxilia no manejo de insetos praga e patógenos de solo (GADANHA JUNIOR et al., 1991). Gabriel Filho et al. (2000) citam que o revolvimento do solo é realizado basicamente com arações e gradagens, cujo arado efetua o corte, elevação, inversão e queda com um efeito de esboroamento de fatias do solo denominadas de leivas. A grade complementa esta

operação diminuindo o tamanho dos torrões e nivelando o terreno. Entretanto, este revolvimento altera a agregação das partículas, principalmente da argila, que retém os nutrientes necessários às plantas, facilitando as perdas por lixiviação e erosão.

O uso indiscriminado de implementos para o revolvimento do solo pode levar à compactação do mesmo. A compactação afeta a aeração por causa das modificações na estrutura do solo e na drenagem da água. O efeito imediato é a redução no volume de macroporos dificultando a aeração e conseqüentemente o desenvolvimento radicular. O manejo sucessivo do solo com “grade pesada”, além de ocasionar excessiva desintegração física, pode levar à formação de “pé de grade”, uma camada compactada logo abaixo da profundidade de corte da grade (CRUZ et al., 2008a). Essa camada reduz a infiltração de água no solo, o que, por sua vez, irá favorecer maior escoamento superficial e, conseqüentemente, a erosão do solo e a redução da produtividade de milho.

As “grades pesadas”, assim como outros equipamentos de discos, são agentes causadores de maior compactação, pois a massa total do equipamento é distribuída numa área muito pequena do disco. Provavelmente, a opção pela “grade pesada” se faz em função da possibilidade de ser obtido maior rendimento operacional com menor consumo de combustível, além de se conseguir realizar tanto a aração primária quanto a secundária, destorroamento e nivelamento, com esse implemento (VIANA et al., 2008).

A principal característica do escarificador é que, durante o manejo, ele somente desintegra o solo, sem revolvê-lo demasiadamente e sem causar compactação, trabalhando até uma profundidade de 0,4 m. Sua utilização é de grande eficiência na descompactação do solo e, para tanto, deve ser empregado quando o solo apresenta-se dentro da faixa de friabilidade (VIANA et al., 2008), para que não haja formação de grande quantidade de torrões. Apresenta bom rendimento operacional, proporcionando bom desenvolvimento do sistema radicular das plantas e facilidade para a infiltração de água no solo, além de possibilitar que grande parte dos resíduos culturais permaneçam sobre a superfície do solo.

O sistema plantio direto surgiu com o intuito de minimizar o impacto causado pelo revolvimento do solo, visando diminuir a erodibilidade, melhorar o desenvolvimento das culturas e aumentar o teor de matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes ao longo do tempo (LOPES et al., 2004). O sistema plantio direto se constitui em uma das melhores formas de condução da agricultura

em direção a sustentabilidade. Este sistema baseia-se na adoção de tecnologias de conservação e/ou melhoria da qualidade dos recursos naturais e no aumento da eficiência na utilização de insumos e mão-de-obra. Segundo Veiga, Reinert e Reichert (2010), o sistema plantio direto é um sistema mais estável, que possibilita maiores benefícios ambientais, como o aumento da atividade biológica do solo, pela menor amplitude de temperatura e maior conservação da umidade, e menores oscilações de pH, reduzindo a remoção de partículas do solo e diminuindo a perda de fertilizantes e agrotóxicos.

Sobretudo, para ser viabilizada técnica e economicamente, o sistema plantio direto não deve ser focado apenas como um método alternativo de semeadura ou manejo do solo. Necessita ser tratado como um sistema de produção, abrangendo um complexo ordenado de práticas agrícolas inter-relacionadas e interdependentes que incluem, além do não revolvimento do solo, a rotação diversificada de culturas e a utilização de coberturas vegetais para formar e manter a massa seca sobre a superfície do solo (BORGHI et al., 2007), sem as quais, os objetivos e vantagens do sistema não são alcançados. A rotação de culturas, em sistema plantio direto, contribui para o aumento nos teores de matéria orgânica superficial, e também possui a capacidade de reciclagem dos nutrientes em profundidade, como o nitrato e sulfato, cuja percolação torna mais difícil a disponibilidade, principalmente às culturas com sistema radicular mais superficial (SILVA et al., 2009b).

Portanto, para a consolidação deste sistema, é de fundamental importância o estabelecimento de culturas para a produção de massa seca, em quantidade adequada à cobertura do solo, o que se revela um problema em regiões mais quentes e com restrições hídricas, por causa da dificuldade de estabelecimento das culturas produtoras de massa seca e acelerado processo de decomposição da mesma. Assim, deve-se conhecer a espécie vegetal a ser utilizada no programa de rotação ou consorciação de culturas, quanto à sua produção de massa seca e velocidade de decomposição, pois são características que interferem nos atributos químicos, entre eles, a CTC, que por sua vez, afeta diretamente a dinâmica de cátions no solo (ANDREOTTI et al., 2008).

Santos, Tomm e Kochhann (2003) constataram maior produtividade de milho no sistema plantio direto quando comparados com cultivo mínimo e manejos com arado de disco e aiveca. Figueiredo et al. (2005) avaliaram o efeito de sistemas de manejo do solo na absorção de nitrogênio pelo milho em Latossolo Vermelho no

Cerrado e verificaram que os sistemas de manejo, instalados em 1979, influenciaram a dinâmica de absorção de nitrogênio pela planta, sendo que sob o sistema plantio direto e cultivo mínimo com escarificador, houve maior eficiência de recuperação no nitrogênio oriundo do fertilizante além de maiores teores de nitrogênio nos grãos quando comparado aos manejos com arado de disco e aiveca.

Arf et al. (2007) avaliando o comportamento do milho em função do manejo do solo e da época de aplicação de nitrogênio, no município de Selvíria – MS, durante os anos agrícolas 2001/02 e 2002/03, concluíram que o sistema plantio direto proporcionou maior população de plantas e maior produtividade em relação ao manejo convencional do solo (“grade pesada” e arado de aiveca) e que a adubação nitrogenada incrementou a produtividade de milho em mais de 29%.

A associação de sistemas conservacionistas de manejo do solo (sistema plantio direto e cultivo mínimo) e o uso de fabáceas proporcionaram melhor fornecimento de nitrogênio ao milho (efeito imediato). Ademais, em subparcelas nas quais se utilizou rotação com aveia + ervilhaca/milho + caupi, houve incrementos de 26 e 19% na quantidade de nitrogênio absorvido e na produtividade, respectivamente, em relação ao tratamento com uso de apenas aveia/milho (AMADO et al., 1999).

Ressalta-se que a opção do sistema de manejo do solo varia com a textura, estrutura e grau de compactação do solo, bem como de acordo com a disponibilidade de equipamentos e de recursos do agricultor (NASCENTE et al., 2011). A seleção do manejo do solo é fator imprescindível para a obtenção de altas produtividades. Entretanto, deve-se ter em mente que esse objetivo não se resume ao próximo período agrícola apenas, mas também, deve visar o longo prazo. Para que isso aconteça, as alterações físicas indesejáveis ao solo devem ocorrer no menor grau possível, ao mesmo tempo em que se busca a manutenção do solo como um recurso não degradado e a menor interferência possível no meio ambiente (VIANA et al., 2008).

No sistema plantio direto, o conceito de recuperação de nitrogênio pelas plantas é mais abrangente que no sistema convencional. Porém, no Brasil, a maioria dos estudos de recuperação da fertilização nitrogenada em milho, sob sistema plantio direto, tem sido conduzida em casa de vegetação e os resultados obtidos podem ser muito diferentes daqueles encontrados sob condições de campo

(FERNANDES; LIBARDI, 2007). Todavia, os estudos de recuperação de nitrogênio em casa de vegetação são bases para pesquisas em condições de campo.

A importância da cultura antecessora à cultura principal em sistema plantio direto tem sido mostrada em diversos trabalhos, com maiores alternativas no Sul do País em relação ao Cerrado, pelas condições climáticas mais favoráveis. A cultura antecessora já se constitui num dos critérios para a recomendação da adubação nitrogenada para a cultura do milho em sistema plantio direto, nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002). O maior benefício para o milho tem sido registrado, no Sul do País, pelo uso preferencial de fabáceas que podem reduzir a demanda de nitrogênio entre 50 e 70%.

Segundo Rambo et al. (2004), o manejo correto da adubação nitrogenada é fundamental nos princípios da agricultura de precisão, visando aumentar a eficiência de uso do nitrogênio; desta forma, a avaliação do efeito da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho é uma prática importante no contexto da nutrição de plantas, contribuindo para a minimização dos custos de produção; contudo, ressalva-se que a eficiência da adubação depende, dentre outros fatores, das condições climáticas, do tipo de solo e da capacidade de extração de nutrientes pelas plantas, durante o cultivo (NEUMANN et al., 2005).

2.5. NITROGÊNIO NA CULTURA DO MILHO

À medida que a agricultura se intensifica e os novos híbridos são lançados, o consumo de nitrogênio tende a aumentar, pois a cultura torna-se cada vez mais exigente. Dentre os fatores que fazem do nitrogênio o nutriente mais importante para a cultura do milho, pode-se citar sua participação no desenvolvimento vegetativo, na fotossíntese, na biossíntese de proteínas (ANDRADE et al., 2003), no ganho de massa de espiga (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004) e na composição estrutural da molécula de clorofila (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2009), tendo por consequência, apresentando incrementos em várias características que influenciam a produtividade final (OHLAND et al., 2005). Segundo Coelho e França (1995), para uma produtividade média de 5.800 kg ha⁻¹, são extraídos pelo milho cerca de 100 kg

ha⁻¹ de nitrogênio, sendo que dessa quantidade, cerca de 75% é exportado pelos grãos.

O índice de clorofila na folha pode ser utilizado para prever o nível nutricional de nitrogênio nas plantas, pelo fato de a quantidade desse pigmento correlacionar-se positivamente com o teor de nitrogênio na planta. Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) descreveram que o índice de clorofila foliar indica o nível adequado de nitrogênio, e não é afetado pelo consumo de luxo do elemento em questão, visto que a planta não produz clorofila além do que necessita. O monitoramento do verde da folha pode sinalizar uma deficiência de nitrogênio com antecedência, podendo essa deficiência ser corrigida com adubações nitrogenadas.

Argenta et al. (2000) relataram ser vantajoso o método de leitura de clorofila, uma vez que pode ser efetuado em poucos minutos, possibilitando rápidos diagnósticos da situação da lavoura. Além disso, os custos de operação são mínimos, ao contrário de outros testes que exigem a compra sistemática de produtos químicos, já que não há necessidade de envio de amostras para laboratório, com economia de tempo e dinheiro, e o agricultor pode analisar quantas amostras for preciso, sem implicar na destruição de folhas.

Além do seu efeito sobre a produtividade de milho, o nitrogênio interfere em diversas outras características da planta relacionadas ao desenvolvimento, as quais, direta ou indiretamente, afetam a produtividade da cultura. Büll (1993) menciona a influência da adubação nitrogenada no aumento do índice de área foliar, massa de mil grãos, altura de planta, produção de biomassa e índice de colheita na cultura do milho e, ressalta ainda, que a aplicação de nitrogênio pode também influenciar indiretamente a nutrição da planta, havendo maior absorção de outros nutrientes devido à exploração de um maior volume de solo pelo aumento do sistema radicular. Segundo o mesmo pesquisador, quando se manteve adequado fornecimento de nutrientes para o milho, a produção diária de massa seca foi 245,0 kg ha⁻¹, enquanto que, em condições de extrema deficiência de nitrogênio, a produção diária foi de 82,0 kg ha⁻¹, evidenciando a importância do correto fornecimento de nitrogênio para a cultura.

Segundo Yamada (1996), o nitrogênio é absorvido pelas plantas de milho, principalmente, na forma nítrica, que posteriormente é reduzida a amônio, num processo onde estão envolvidas duas enzimas: a redutase do nitrato e a do nitrito. A

primeira é responsável pela transformação de nitrato em nitrito e a segunda pela transformação de nitrito a amônio, para posterior assimilação em aminoácidos.

O nitrogênio é importante no estágio inicial de desenvolvimento da planta, quando ela está com quatro folhas expandidas (fora do “cartucho”), pois esta é a fase em que o sistema radicular, em desenvolvimento, já mostra considerável percentual de pêlos absorventes e ramificações diferenciadas, e a adição de nitrogênio estimula sua proliferação, com conseqüente desenvolvimento da parte aérea. Também neste estágio, tem início o processo de diferenciação floral, o qual origina os primórdios da panícula e da espiga, bem como define o potencial produtivo (YAMADA; ABDALLA, 2000).

Quanto ao modo e à posição de aplicação do fertilizante nitrogenado na cultura do milho, Yamada (1996) cita que parte deve ser aplicada por ocasião da semeadura, posicionado 5 cm abaixo e 5 cm ao lado da semente, e o restante em cobertura após a emergência, pois o fertilizante nitrogenado, se aplicado muito próximo das sementes pode reduzir a emergência devido à salinidade ou à toxidez por amônia. De acordo com Oliveira (1995), a aplicação de nitrogênio em cobertura deve ser localizada em faixa, na entre linha da cultura, e não a lanço, a fim de evitar o contato do fertilizante com as folhas da planta, o que pode provocar a desidratação e morte das células da epiderme e, conseqüentemente, o surgimento de lesões.

No Brasil, existe o conceito generalizado entre técnicos e agricultores de que, aumentando-se o número de parcelamento da adubação nitrogenada, aumenta-se a eficiência do uso do nitrogênio e reduzem-se as perdas, principalmente por lixiviação. Como conseqüência e devido às facilidades que os sistemas de irrigação oferecem para aplicação de fertilizantes via água, é comum o parcelamento do fertilizante nitrogenado em quatro ou até oito vezes durante o ciclo da cultura. Entretanto, experimentos conduzidos evidenciaram que a aplicação parcelada de nitrogênio em duas, três ou mais vezes para a cultura do milho, com doses variando de 60 a 120 kg ha⁻¹, em solos de textura média e argilosa, não refletiram em maiores produtividades em relação a uma única aplicação na fase inicial de maior exigência da cultura. É importante salientar que as informações apresentadas anteriormente foram obtidas em solos de textura argilosa a média, com teores de argila variando de 30 a 60%, não sendo, portanto, válidas para solos arenosos (80 a 90% de areia), cujo manejo do nitrogênio irá necessariamente requerer cuidados especiais (COELHO et al., 2010).

A alternativa de aplicar todo o nitrogênio de uma só vez tem despertado grande interesse, pois apresenta algumas vantagens operacionais, como maior flexibilidade no período de execução da adubação e racionalização do uso de máquinas e mão-de-obra. Entretanto, devido à extrema complexidade da dinâmica do nitrogênio no solo, a qual é fortemente influenciada pelas variáveis ambientais, os resultados de experimentos de campo não são consistentes o bastante para que se possa generalizar a recomendação dessa prática. Por outro lado, a aplicação de nitrogênio em cobertura quase sempre assegura incrementos significativos na produtividade de milho, independente de a precipitação pluvial ser normal ou excessiva, principalmente no período inicial de desenvolvimento da cultura (COELHO et al., 2010).

Ceretta et al. (2002) estudaram formas de parcelamento da adubação nitrogenada para o milho (aplicação em pré-semeadura, após o manejo da aveia preta, semeadura e em cobertura) em sucessão à aveia preta, e indicaram que a aplicação em pré-semeadura do milho, de parte ou de todo o nitrogênio que seria aplicado em cobertura não conferiu produtividade diferente da aplicação na semeadura e em cobertura, porém com precipitações pluviométricas acima da normal, podem ocorrer quedas de produtividade. Por esta razão, os pesquisadores recomendam a adubação nitrogenada parcelada para o milho.

Devido ao baixo efeito residual e a grande exigência das culturas, a adubação nitrogenada precisa ser realizada em maiores quantidades e mais frequentemente que a dos demais nutrientes. Para obter elevada produtividade, a cultura do milho requer grandes quantidades de nitrogênio. A literatura tem mostrado resultados de respostas da adubação nitrogenada com até 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio, em épocas e formas de aplicação variadas, de acordo com cada situação (sistema plantio direto ou convencional, com ou sem rotação de culturas e, etc.). Contudo, Deparis, Lana e Frandoloso (2007) concluíram que doses de nitrogênio acima de 80 kg ha⁻¹ resultaram em menor eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados bem como em diminuição da eficiência de absorção de nitrogênio.

No Brasil, as recomendações da adubação nitrogenada em cobertura para o milho em cultivo de sequeiro para altas produtividades variam entre 50 e 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, enquanto que para o cultivo irrigado, variam entre 120 e 150 kg ha⁻¹ (SOUZA et al., 2003). Uma pequena quantidade (20 a 30 kg ha⁻¹) é fornecida na semeadura e o restante em uma ou mais aplicações em cobertura durante o

desenvolvimento da cultura (SOUSA; LOBATO, 2004). A definição precisa da dose é uma meta difícil de ser alcançada e, a cada dia, torna-se mais importante, pelo fato de o nitrogênio ser requerido em grandes quantidades pela cultura, devido ao seu custo elevado e em função das possibilidades de contaminação do ambiente com nitrogênio quando aplicado em excesso (HURTADO et al., 2011). Por outro lado, a utilização de subdoses de nitrogênio restringe fortemente a produtividade de milho (HAWKINS et al., 2007).

Entretanto, é recomendável determinar a dose da adubação nitrogenada levando-se em consideração alguns fatores importantes, tais como a expectativa de produtividade, o genótipo utilizado, as características químicas, físicas e biológicas do solo, o clima, a época de semeadura, a cultura antecessora, o manejo do solo, a adubação anteriormente utilizada e o sistema de produção agrícola utilizado.

Alguns estudos de curva de resposta têm comprovado que essas doses propiciaram altas produtividades para a cultura na região do Cerrado (FERREIRA et al., 2001; SILVA, 2005). Contudo, altas doses de nitrogênio podem interferir na germinação e no desenvolvimento inicial da plântula (SANGOI; ERNANI; BIANCHET, 2009), modificar o pH do solo, aumentando ou diminuindo a disponibilidade de alguns nutrientes e pode haver também aumento na mineralização da matéria orgânica do solo e conseqüente aumento dos nutrientes disponíveis. A utilização de fertilizantes nitrogenados em excesso pode, também, provocar prejuízos ambientais, como a contaminação do lençol freático com nitrato, devido à eficiência da adubação nitrogenada ser por volta de apenas 50% (LARA CABEZAS et al., 2004; DEUNER et al., 2008; HODGEN et al., 2009). Segundo Amado, Mielniczuk e Fernandes (2001), o desafio no manejo da adubação nitrogenada é aumentar a quantidade de nitrogênio absorvida pelas plantas e diminuir, ao mesmo tempo, as perdas ocorridas no sistema solo-planta.

Amaral Filho et al. (2005) avaliando espaçamento, densidade populacional e dose de nitrogênio em cobertura (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹) na cultura do milho em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico concluíram que o aumento na dose de nitrogênio promoveu acréscimo linear no teor de nitrogênio foliar, no índice de clorofila foliar, no número de grãos por espiga, na massa de mil grãos, na produtividade e no teor de proteína nos grãos.

De acordo com Cantarella e Duarte (2004), o nitrogênio além de ser o nutriente exigido em maior quantidade, é o que tem o manejo e a recomendação de

adubação mais complexa. Além disso, é necessário dar ênfase a este nutriente pelo aumento do custo dos adubos nitrogenados e também pelos possíveis efeitos negativos do excesso de nitrato nos mananciais. Soma-se a isso ainda, o fato de alguns híbridos modernos apresentarem padrões de absorção e translocação de nitrogênio diferentes dos tradicionais, sendo necessário o conhecimento dessas particularidades para as recomendações de adubação nitrogenada para a cultura.

Os fatores ambientais, os da própria cultura e os do solo afetam a resposta da cultura do milho ao nitrogênio de modo que as curvas de produtividade podem variar bastante entre diferentes locais, assim como em solos férteis, com alto suprimento residual de nitrogênio, adubações nitrogenadas podem até não ter efeito ou mesmo diminuir as produtividades (BELOW, 2002). Nos últimos 20 anos foram descobertas as potencialidades das culturas antecessoras, como as fabáceas. O uso generalizado do sistema plantio direto e de coberturas vegetais, no Sul do País, criou a necessidade de recomendação da adubação nitrogenada para a cultura o milho adaptada a esse novo cenário (CRUZ et al., 2008a).

Embora estudos tenham buscado identificar a melhor dose de aplicação de nitrogênio para o milho, ainda não há concordância nos resultados. Tendo em vista os aspectos anteriormente mencionados, fica evidente que a utilização de coberturas vegetais, sistemas de manejo do solo e doses de nitrogênio em cobertura, constituem práticas de manejo em que se procura preservar a qualidade ambiental sem prescindir da elevada produtividade da cultura do milho.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA EXPERIMENTAL

A pesquisa foi realizada na área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP – Câmpus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul, situada a 20° 20' de latitude Sul e 51° 24' de longitude Oeste de Greenwich, com altitude de 340 m. O relevo é caracterizado como moderadamente plano e ondulado.

Os experimentos foram conduzidos durante os anos agrícolas 2009/10 e 2010/11. A área experimental teve os sistemas de manejo do solo instalados no ano agrícola de 1997/98 (Tabela 1). No período de verão de 2008/09, a área foi cultivada com milho, permanecendo em pousio no inverno seguinte.

Tabela 1- Histórico de exploração agrícola da área experimental nos três sistemas de manejo do solo estudados. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).

Ano agrícola	Verão	Inverno	Ano agrícola	Verão	Inverno
1997/08	Milho	Pousio	2003/04	Arroz	Trigo
1998/99	Milho	Pousio	2004/05	Arroz	Trigo
1999/00	Arroz	Feijão	2005/06	Milho	Pousio
2000/01	Arroz	Feijão	2006/07	Milho	Pousio
2001/02	Milho	Feijão	2007/08	Milho	Pousio
2002/03	Milho	Feijão	2008/09	Milho	Pousio

3.2. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O solo predominante da área, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 2006), é classificado como Latossolo Vermelho distrófico álico e de

textura argilosa, o qual foi originalmente ocupado por vegetação de Cerrado e vem sendo explorado por culturas anuais há mais de 26 anos.

Antes da instalação dos experimentos, no mês de agosto de cada ano agrícola e em cada sistema de manejo do solo, foram realizadas amostragens do solo da área na camada de 0,0 a 0,2 m para análise, conforme metodologia descrita por Raij et al. (1996), cujas características químicas constam nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2- Análise química do solo da área experimental na camada de 0,0 a 0,2 m nos três sistemas de manejo do solo estudados. Selvíria – MS, Brasil (2009/10)⁽¹⁾.

Macronutrientes e resultados complementares										
pH	P ⁽²⁾	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	MO
H ₂ O	– mg dm ⁻³ –	mmol _c dm ⁻³							– % –	g dm ⁻³
Escarificador + “grade leve”										
6,1	16	3,5	30	17	0	27	51	78	65	17
“grade pesada” + “grade leve”										
6,2	12	3,1	31	18	0	30	52	82	64	19
Sistema plantio direto										
6,1	29	2,7	31	18	0	32	52	84	61	17

⁽¹⁾ Método de análise do Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Laboratório de Fertilidade de Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia (UNESP – Câmpus de Ilha Solteira). ⁽²⁾ Método da resina.

Tabela 3- Análise química do solo da área experimental na camada de 0,0 a 0,2 m nos três sistemas de manejo do solo estudados. Selvíria – MS, Brasil (2010/11)⁽¹⁾.

Macronutrientes e resultados complementares										
pH	P ⁽²⁾	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	MO
H ₂ O	– mg dm ⁻³ –	mmol _c dm ⁻³							– % –	g dm ⁻³
Escarificador + “grade leve”										
6,4	28	1,8	36	25	0	20	63	83	76	20
“grade pesada” + “grade leve”										
6,4	31	1,4	32	21	0	20	54	74	73	20
Sistema plantio direto										
6,0	26	1,7	24	16	0	25	42	67	63	18

⁽¹⁾ Método de análise do Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Laboratório de Fertilidade de Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia (UNESP – Câmpus de Ilha Solteira). ⁽²⁾ Método da resina.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA E DADOS CLIMÁTICOS

O clima predominante da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação pluvial média anual é de 1.330 mm, com temperatura do ar média anual de aproximadamente 25 °C e umidade relativa do ar média anual de 66% (CENTURION, 1982).

Os valores diários de precipitação pluvial, de temperatura mínima e máxima do ar e umidade relativa, registrados durante a condução dos experimentos nos anos agrícolas 2009/10 e 2010/11, constam nas Figuras 1 e 2, respectivamente. A precipitação pluvial total registrada no ano agrícola 2009/10 foi de 1.614 mm e no ano agrícola 2010/11 foi de 1.744 mm. Os dados climáticos foram coletados na Estação Meteorológica da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, localizada a aproximadamente 1.000 m da área experimental.

Figura 1- Valores diários de precipitação pluvial, temperatura mínima e máxima do ar e umidade relativa (UR), registrados durante a condução dos experimentos. Selvíria – MS, Brasil (2009/10).

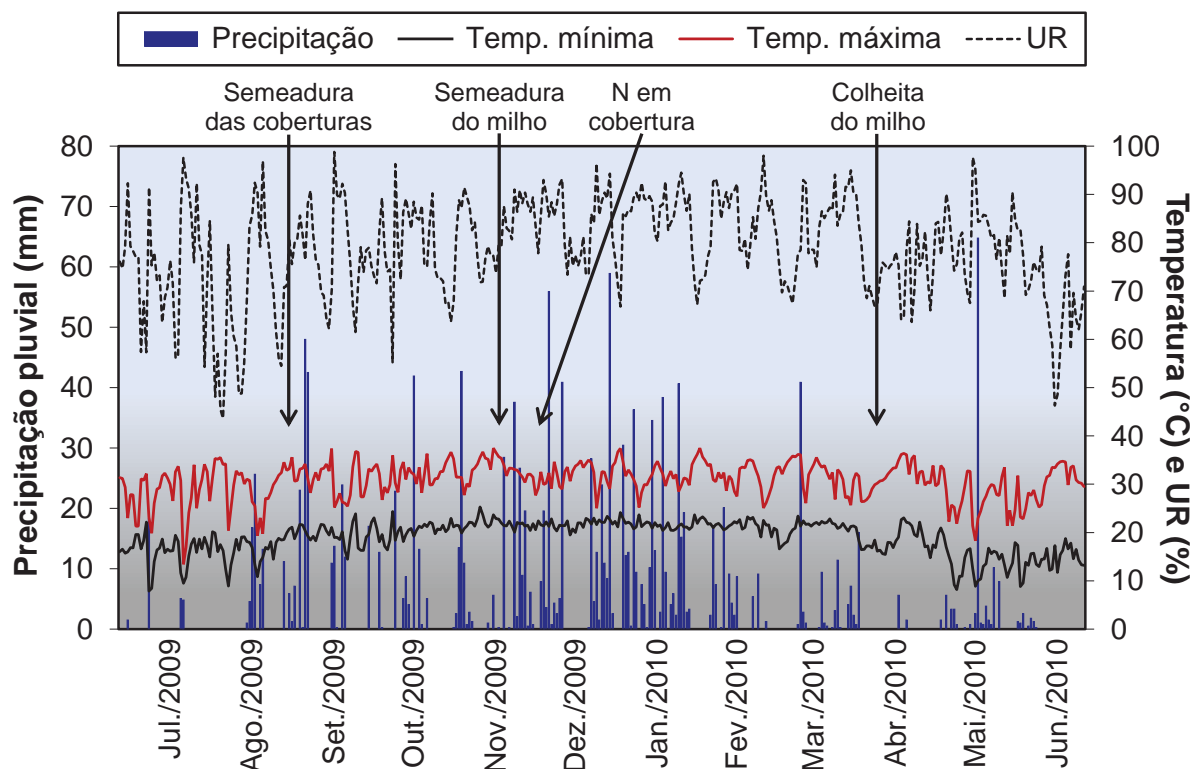
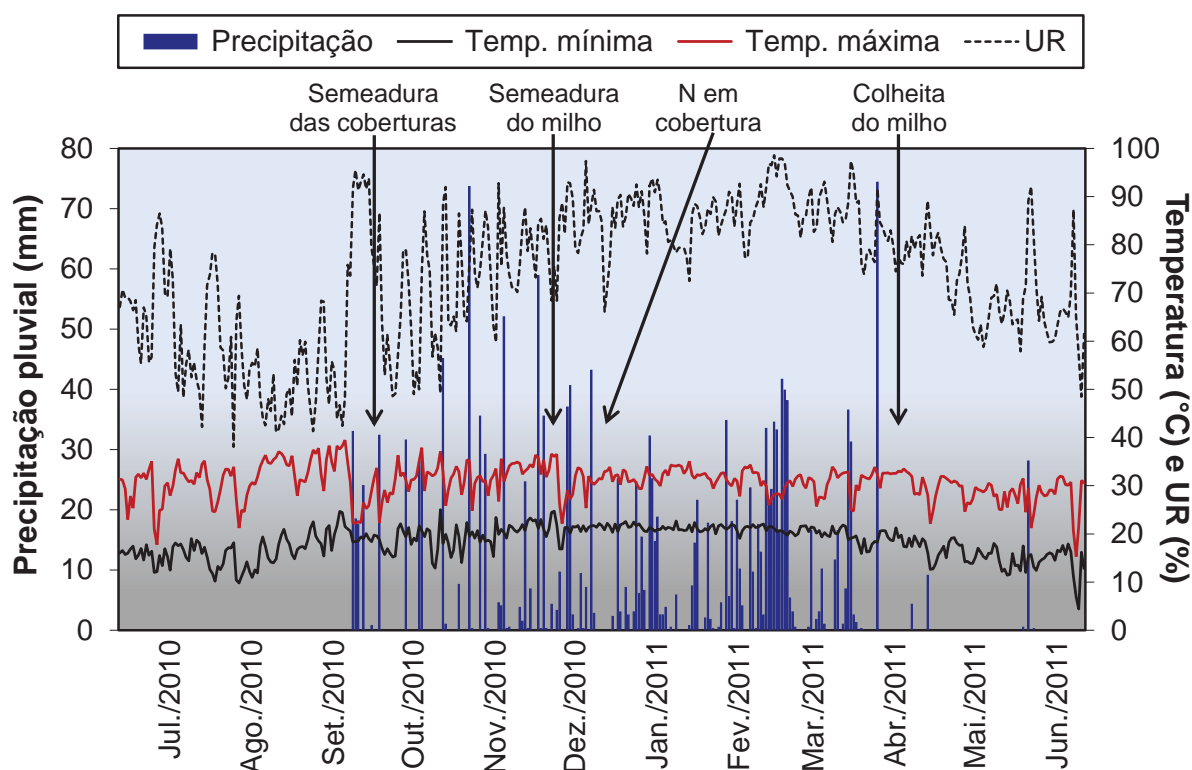


Figura 2- Valores diários de precipitação pluvial, temperatura mínima e máxima do ar e umidade relativa (UR), registrados durante a condução dos experimentos. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).



3.4. TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foram estabelecidos trinta e seis tratamentos com quatro repetições, os quais resultaram da combinação dos fatores cobertura vegetal, sistema de manejo do solo e doses de nitrogênio em cobertura (Tabela 4). Como coberturas vegetais, foram utilizadas as seguintes: (i) milheto [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown]; (ii) crotalária [*Crotalaria juncea* (L.) e]; (iii) milheto + crotalária. Os sistemas de manejos do solo consistiram em: (i) escarificador + “grade leve”; (ii) “grade pesada” + “grade leve” e; (iii) sistema plantio direto. As doses de nitrogênio em cobertura foram: 0 (tratamento sem aplicação de nitrogênio); 60, 90 e 120 kg ha⁻¹, as quais foram definidas em função da expectativa de produtividade (8.000 kg ha⁻¹), conforme recomendações propostas por Sousa e Lobato (2004). Como fonte nitrogenada foi utilizada a ureia (45% de nitrogênio), ajustando-se as doses do fertilizante para as respectivas doses.

A disposição das coberturas vegetais e dos sistemas de manejo do solo, dentro de cada bloco, obedeceu a um esquema em faixas cruzadas, enquanto que as doses de nitrogênio em cobertura foram locadas de maneira casualizada dentro das parcelas definidas pela intersecção das próprias faixas.

Tabela 4- Descrição sucinta dos tratamentos estudados nos experimentos. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).

T	C	M	D	T	C	M	D
01	Milheto	E+GL	0	19	Milheto	GP+GL	90
02	Crotalária	E+GL	0	20	Crotalária	GP+GL	90
03	Milheto + crotalária	E+GL	0	21	Milheto + crotalária	GP+GL	90
04	Milheto	E+GL	60	22	Milheto	GP+GL	120
05	Crotalária	E+GL	60	23	Crotalária	GP+GL	120
06	Milheto + crotalária	E+GL	60	24	Milheto + crotalária	GP+GL	120
07	Milheto	E+GL	90	25	Milheto	SPD	0
08	Crotalária	E+GL	90	26	Crotalária	SPD	0
09	Milheto + crotalária	E+GL	90	27	Milheto + crotalária	SPD	0
10	Milheto	E+GL	120	28	Milheto	SPD	60
11	Crotalária	E+GL	120	29	Crotalária	SPD	60
12	Milheto + crotalária	E+GL	120	30	Milheto + crotalária	SPD	60
13	Milheto	GP+GL	0	31	Milheto	SPD	90
14	Crotalária	GP+GL	0	32	Crotalária	SPD	90
15	Milheto + crotalária	GP+GL	0	33	Milheto + crotalária	SPD	90
16	Milheto	GP+GL	60	34	Milheto	SPD	120
17	Crotalária	GP+GL	60	35	Crotalária	SPD	120
18	Milheto + crotalária	GP+GL	60	36	Milheto + crotalária	SPD	120

Legenda: T – tratamento; C – cobertura vegetal; M – manejo do solo; D – dose de nitrogênio em cobertura (kg ha^{-1}); E+GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP+GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.

3.5. CARACTERIZAÇÃO DO HÍBRIDO DE MILHO

A fim de que os resultados tenham representatividade para as lavouras comerciais, optou-se pela utilização de um híbrido recomendado para o cultivo na região e de grande aceitação comercial. Trata-se de um híbrido geneticamente

modificado, no qual foi introduzido o gene derivado da bactéria *Bacillus thuringiensis* (tecnologia *Bt*), o qual confere resistência a certas espécies de lepidóptero-praga. Os principais atributos agronômicos e níveis de reações às principais doenças do híbrido utilizado estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5- Atributos agronômicos e níveis de reações às doenças do híbrido de milho DKB 350 YG®. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).

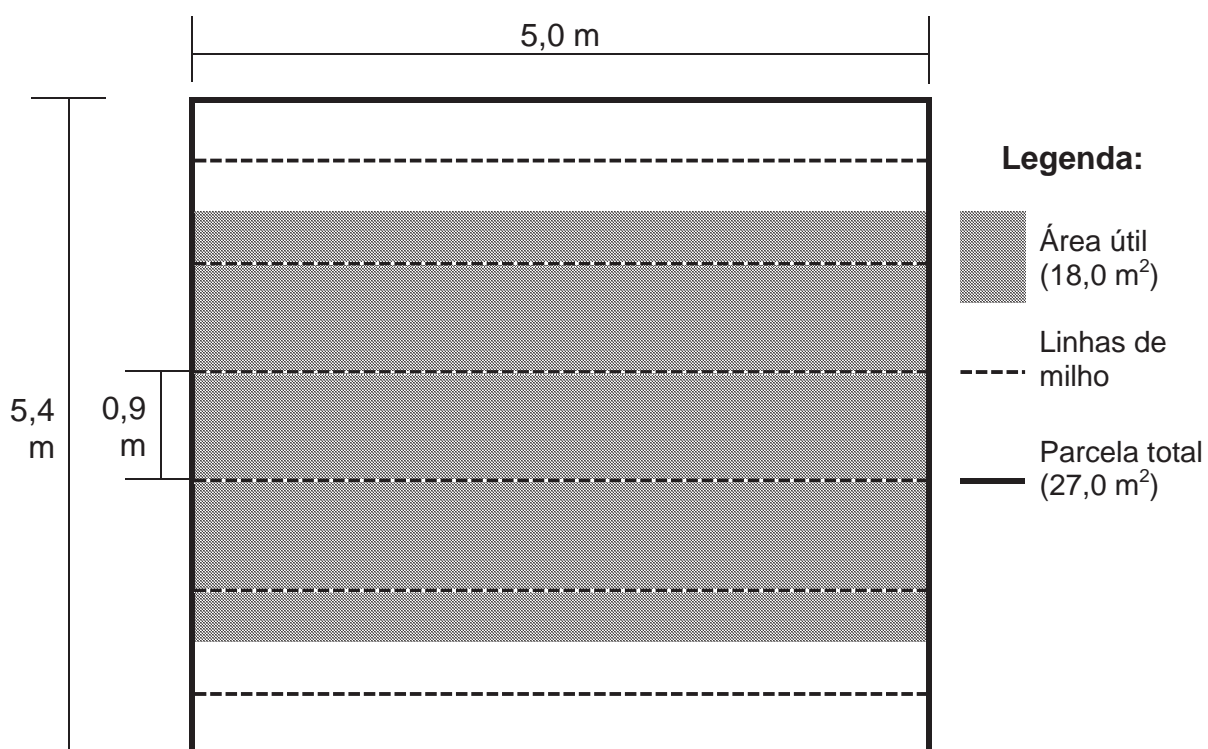
Atributo agronômico	Característica
Tipo	Triplo
Ciclo	Precoce
Florescimento	860 Graus-dia
Finalidade	Produção de grãos
Stay green	Bom
Sistema radicular	Excelente
Arquitetura foliar	Semi-ereta
Altura média de planta	220 a 235 cm
Altura média de inserção de espiga	115 a 125 cm
Empalhamento da espiga	Bom
Textura / cor do grão	Duro / alaranjado
Tolerância ao acamamento	Alta
Época de semeadura	Cedo / normal / tarde / “safrinha”
Recomendação de cultivo	Todo o Brasil
População	50.000 a 60.000 plantas ha ⁻¹
Nível de tecnologia	Alta
Nível de reação às principais doenças	
Cercosporiose	Tolerante
Doenças de colmo	Tolerante
Doenças de grãos	Susceptível
Enfezamento (Molicutes)	Tolerante
Fusariose	Medianamente tolerante
<i>Helminthosporium turcicum</i>	Medianamente susceptível
<i>Helminthosporium maydis</i>	Tolerante
<i>Phaeosphaeria maydis</i>	Tolerante
<i>Physopella zaeae</i>	Medianamente susceptível
<i>Puccinia polysora</i>	Altamente susceptível
<i>Puccinia sorghi</i>	Medianamente tolerante

Fonte: Cruz, Pereira Filho e Silva (2011); Dekalb (2011).

3.6. PARCELAS EXPERIMENTAIS

As parcelas experimentais foram constituídas por seis linhas de 5,0 m de comprimento, espaçadas de 0,9 m, perfazendo área total de 27,0 m² (5,4 x 5,0 m) e área útil de 18,0 m², uma vez que para a coleta dos dados foram utilizadas as quatro linhas centrais de cada parcela. Na avaliação de produtividade da cultura, foram utilizadas as duas linhas centrais, constituindo em área útil de 9,0 m². A primeira e a sexta linhas foram consideradas bordaduras. O esquema da parcela experimental pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3- Esquematização da parcela experimental. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).



3.7. IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

A seguir são descritas informações a respeito da implantação e condução dos experimentos para os anos agrícolas 2009/10 e 2010/11.

3.7.1. ANO AGRÍCOLA 2009/10

3.7.1.1. Coberturas vegetais

Na semana que se procedeu a sementeira das coberturas vegetais, as plantas daninhas presentes na área, na qual predominava o apaga-fogo [*Alternanthera tenella* (Colla)], a corda-de-viola [*Ipomoea grandifolia* (Dammer) O' Donell] e o picão-preto [*Bidens pilosa* (L.)], foram dessecadas com glifosato (herbicida não seletivo e de ação sistêmica do grupo químico dos derivados de glicina substituída) na dose de 960 g ha⁻¹ do ingrediente ativo (i.a.), objetivando propiciar o bom desenvolvimento das culturas. O herbicida foi aplicado com pulverizador tratorizado de barras regulado para aplicação de 220 L ha⁻¹ de calda.

As coberturas vegetais foram semeadas no dia 27 de agosto de 2009, com semeadora específica para o sistema plantio direto e mecanismo de distribuição de sementes com fluxo contínuo. O milho [cultivar ADR 500^{®(1)} – ciclo tardio e adaptada para produção de massa seca em sistema plantio direto (RODRIGUES; PEREIRA FILHO, 2010)] 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 (milho + crotalária), a quantidade de sementes foi a mesma utilizada no cultivo isolado para ambas as espécies vegetais. O milho foi semeado em linhas intercalares com as de crotalária, portanto, espaçadas de 0,17 m. A emergência da maioria das plântulas ocorreu no quarto e sexto dias após a sementeira do milho e da crotalária, respectivamente. Contudo, é oportuno destacar que no sistema de cultivo consorciado, houve dominância da crotalária em relação ao milho, devido ao fato de que a *Crotalaria juncea* é considerada uma fabácea com velocidade de desenvolvimento inicial muito rápida (FREITAS et al., 2003; FORMENTINI et al., 2008; KAPPES, 2011).

O florescimento de ambas as coberturas vegetais foi constatado aos 44 dias após a emergência, tanto no sistema isolado quanto no sistema consorciado. Não

⁽¹⁾ Nomes de produtos comerciais e suas utilizações nos experimentos não caracterizam recomendação ou preferência do autor.

foram realizados quaisquer tipos de adubação mineral e tratamentos fitossanitários das coberturas vegetais, haja vista o seu bom desenvolvimento. O fornecimento de água, quando necessário, foi realizado com sistema de irrigação por aspersão do tipo “canhão” hidráulico auto-propelido, levando-se em consideração os dados de precipitação pluvial registrados na Estação Meteorológica da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP.

Aos 63 dias após a semeadura, momento em que as coberturas vegetais apresentavam-se com altura entre 180 e 200 cm, estas foram dessecadas com glifosato e 2,4-D sal dimetilamina (herbicida seletivo e de ação sistêmica do grupo químico do ácido ariloxialcanóico), nas doses de 1.440 e 800 g ha⁻¹ do i.a., respectivamente. A aplicação foi realizada com pulverizador tratorizado de barras regulado para aplicação de 200 L ha⁻¹ de calda. Cinco dias após a aplicação dos herbicidas, as coberturas vegetais foram manejadas com desintegrador mecânico horizontal, com altura de corte aproximada de 15 cm, objetivando fragmentar e distribuir de forma uniforme os resíduos das culturas na área de cultivo e facilitar a semeadura do milho. Após o manejo mecânico das coberturas vegetais, realizou-se a calagem do solo perante aplicação de 1.500 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico [CaCO₃ (PRNT: 85%; CaO: 36 a 39% e; MgO: 12 a 15%)]. O calcário foi aplicado com distribuidor a lança em área total, sendo posteriormente realizado o manejo do solo.

3.7.1.2. Manejo do solo

O solo foi manejado dois dias após as coberturas vegetais serem fragmentadas mecanicamente. O manejo com escarificador + “grade leve” foi realizado com implemento escarificador de sete hastes à profundidade de trabalho em torno de 0,35 m e com grade 32 x 20” à profundidade aproximada de 0,1 m. O manejo do solo com “grade pesada” + “grade leve” 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. O manejo no sistema plantio direto ficou restrito somente a desintegração mecânica das coberturas vegetais. É oportuno ressaltar que nesse sistema, os resíduos das culturas proporcionaram excelente cobertura do solo.

3.7.1.3. Cultura do milho

As sementes foram tratadas com imidacloprido (inseticida sistêmico do grupo químico dos neonicotinóide) e tiodicarbe (inseticida do grupo químico dos carbamatos), nas doses de 50 e 150 g do i.a. para 60.000 sementes, respectivamente, objetivando evitar o ataque inicial de eventuais insetos praga, especialmente lagarta-elasma [*Elasmopalpus lignosellus* (Zeller)], percevejo-barriga-verde [*Dichelops melacanthus* (Dallas)], cigarrinha-das-pastagens [*Deois flavopicta* (Stal)] e cupim [*Procornitermes striatus* (Hagen)].

A semeadura foi realizada no dia 16 de novembro de 2009 (11 dias após o solo ser manejado), distribuindo-se 5,4 sementes por metro de sulco a uma profundidade de 4 cm, no espaçamento de 0,9 m entre as linhas. Utilizou-se semeadora específica para o sistema plantio direto, equipada com mecanismo sulcador de hastes (tipo “botinha”) e sistema de distribuição de sementes pneumático (vácuo por discos perfurados). Nos três sistemas de manejo do solo, a emergência da maioria das plântulas ocorreu seis dias após a semeadura, estabelecendo-se população inicial de 54.490 plantas ha⁻¹, estando coerente com a recomendação proposta pela empresa produtora das sementes (Tabela 5) (DEKALB, 2011). Na adubação mineral de semeadura foram aplicados 24, 84 e 48 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, utilizando-se o formulado N-P₂O₅-K₂O 08-28-16 (+ 1% de cálcio, 2% de enxofre e 0,3% de zinco), conforme as características químicas do solo e as recomendações propostas por Sousa e Lobato (2004).

Durante a condução da cultura foram realizadas as práticas fitotécnicas de acordo com a sua necessidade. O manejo fitossanitário foi realizado com produtos específicos para cada caso, visando manter a cultura em condições adequadas de sanidade sem interferir negativamente em seu desenvolvimento. No manejo de plantas daninhas, aplicou-se atrazina (herbicida seletivo e de ação sistêmica do grupo químico das triazinas) e tembotriona (herbicida seletivo e de ação sistêmica do grupo químico benzoilciclohexanodiona), nas doses de 1.000 e 100 g ha⁻¹ do i.a., respectivamente. Adicionou-se na calda de aplicação o adjuvante éster metilado de óleo de soja (500 g ha⁻¹ do i.a.). A aplicação foi realizada com pulverizador de barras

tratorizado munido com pontas do tipo jato plano (“leque”) e regulado para aplicar 200 L ha⁻¹ de calda. É oportuno destacar que no momento da aplicação, as condições climáticas estavam adequadas, as plantas daninhas estavam nos estádios iniciais de desenvolvimento e a cultura encontrava-se com 50% das plantas com a sexta folha expandida (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003), ou seja, aos 17 dias após a emergência.

Não houve a necessidade de manejo químico da lagarta-do-cartucho [*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)], pois por se tratar de um genótipo transgênico (tecnologia Bt), seu dano não atingiu o nível crítico de manejo, que é de 20% de plantas com folhas raspadas até os 30 dias após a semeadura e de 10% de plantas com folhas raspadas dos 40 aos 60 dias após a semeadura da cultura (GALLO et al., 2002). Devido à baixa incidência de doenças fúngicas foliares, não foi realizada aplicação de fungicida.

O nitrogênio foi aplicado quando 50% das plantas apresentavam-se com a quinta folha expandida (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003), aos 11 dias após a emergência. A aplicação foi realizada manualmente, distribuindo o fertilizante sobre a superfície do solo (sem incorporação), ao lado e aproximadamente 5 cm das fileiras, a fim de evitar o contato do fertilizante com as plantas, o que poderia provocar a desidratação e morte das células (OLIVEIRA, 1995). É válido ressaltar, que no momento da aplicação do fertilizante nitrogenado, o solo apresentava-se com boa condição de umidade, fator este que propicia a minimização das perdas de nitrogênio por volatilização da amônia (NH₃), conforme ressaltado por Costa et al. (2004). Ademais, no dia seguinte à aplicação, constatou-se precipitação pluvial de 6,1 mm, condição climática que pode ter contribuído para a incorporação do fertilizante no solo.

O florescimento pleno da cultura (50% das plantas no início da polinização) (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003) ocorreu aos 50 dias após a emergência. A colheita das espigas foi realizada manualmente, no dia 08 de abril de 2010, correspondendo a 137 dias após a emergência, momento no qual os grãos apresentavam-se em média, com 16% de umidade. Em seguida, as espigas foram submetidas à análise dos componentes de produção e à trilha mecânica, para mensuração de produtividade da cultura.

3.7.2. ANO AGRÍCOLA 2010/11

3.7.2.1. Coberturas vegetais

Antes da semeadura das coberturas vegetais, as plantas daninhas presentes na área, na qual predominava o apaga-fogo [*Alternanthera tenella* (Colla)], a corda-de-viola [*Ipomoea grandifolia* (Dammer) O' Donell] e o picão-preto [*Bidens pilosa* (L.)], foram dessecadas com glifosato (720 g ha⁻¹ do i.a.), objetivando propiciar o bom desenvolvimento das culturas. O herbicida foi aplicado com pulverizador tratorizado de barras regulado para aplicação de 220 L ha⁻¹ de calda.

Em razão do atraso do início do período chuvoso comparativamente ao ano agrícola 2009/10 (Figuras 1 e 2), a semeadura das coberturas vegetais foi realizada no dia 04 de outubro de 2010. Utilizou-se a mesma quantidade de sementes certificadas, espaçamento entre as linhas e semeadora utilizada no ano agrícola 2009/10. A emergência da maioria das plântulas ocorreu no sexto e quinto dias após a semeadura do milho [cultivar BRS-1501[®] – ciclo médio e adaptada para produção de massa seca em sistema plantio direto (RODRIGUES; PEREIRA FILHO, 2010)] e da crotalária, respectivamente. Novamente, houve dominância da crotalária em relação ao milho no sistema de cultivo consorciado, devido ao fato de que a *Crotalaria juncea* é considerada uma fabácea com velocidade de desenvolvimento inicial muito rápida (FREITAS et al., 2003; FORMENTINI et al., 2008; KAPPES, 2011).

O florescimento do milho ocorreu aos 40 dias após a emergência e da crotalária aos 50 dias após a emergência, tanto no sistema isolado quanto no sistema consorciado. Não foram realizados quaisquer tipos de adubação mineral e tratamentos fitossanitários das coberturas vegetais, haja vista o seu bom desenvolvimento. O fornecimento de água, quando necessário, foi realizado com sistema de irrigação por aspersão do tipo “canhão” hidráulico auto-propelido, levando-se em consideração os dados de precipitação pluvial registrados na Estação Meteorológica da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP.

Aos 56 dias após a semeadura, momento em que as coberturas vegetais apresentavam-se com altura entre 180 e 200 cm, realizou-se a dessecação com os herbicidas glifosato e 2,4-D sal dimetilamina, nas doses de 1.920 e 400 g ha⁻¹ do i.a., respectivamente. A aplicação foi realizada com pulverizador tratorizado de barras regulado para aplicação de 200 L ha⁻¹ de calda. Sete dias após a dessecação, as coberturas vegetais foram manejadas com desintegrador mecânico horizontal, com altura de corte aproximada de 15 cm.

3.7.2.2. Manejo do solo

O manejo do solo foi realizado cinco dias após as coberturas vegetais terem sido fragmentadas mecanicamente. Os implementos utilizados, bem como sequência operacional e profundidade de trabalho, foram os mesmos descritos para o ano agrícola 2009/10.

3.7.2.3. Cultura do milho

A semeadura foi realizada no dia 11 de dezembro de 2010 (dia de realização do manejo do solo), utilizando-se os mesmos inseticidas e doses no tratamento de sementes, mesma quantidade de sementes, espaçamento entre as linhas, adubação mineral e semeadora descrita no ano agrícola 2009/10. Nos três sistemas de manejo do solo, a emergência da maioria das plântulas ocorreu seis dias após a semeadura, estabelecendo-se população inicial de 54.430 plantas ha⁻¹, estando coerente com a recomendação proposta pela empresa produtora das sementes (Tabela 5) (DEKALB, 2011).

Durante a condução da cultura foram realizadas as práticas fitotécnicas de acordo com a sua necessidade. Assim como no ano agrícola 2009/10, não houve a necessidade de realizar o manejo químico da lagarta-do-cartucho [*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)] e de doenças fúngicas foliares. O manejo de plantas

daninhas foi realizado com aplicação de atrazina e tembotriona, nas doses de 1.000 e 100 g ha⁻¹ do i.a., respectivamente. Adicionou-se na calda de aplicação o adjuvante éster metilado de óleo de soja (720 g ha⁻¹ do i.a.). A aplicação foi realizada com pulverizador de barras tratorizado e regulado para aplicar 300 L ha⁻¹ de calda. É oportuno destacar que no momento da aplicação, as condições climáticas estavam adequadas, as plantas daninhas estavam nos estádios iniciais de desenvolvimento e a cultura encontrava-se com 50% das plantas com a quinta folha expandida (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003), aos 11 dias após a emergência.

O nitrogênio foi aplicado quando 50% das plantas apresentavam-se com a quinta folha expandida (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003), aos 10 dias após a emergência. O método de aplicação do fertilizante foi o mesmo utilizado no ano agrícola 2009/10. Embora o solo apresentava-se com boa condição de umidade na ocasião da aplicação do fertilizante nitrogenado, minimizando as perdas de nitrogênio por volatilização da amônia (COSTA et al., 2004), constatou-se precipitação pluvial de 6,8 mm apenas no quarto dia após a sua aplicação.

O florescimento pleno da cultura (50% das plantas no início da polinização) (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003) ocorreu aos 50 dias após a emergência. A colheita das espigas foi realizada manualmente, no dia 21 de abril de 2011 (125 dias após a emergência), momento no qual os grãos apresentavam-se em média, com 19% de umidade.

3.8. AVALIAÇÕES FITOTÉCNICAS

3.8.1. COBERTURAS VEGETAIS

Nas coberturas vegetais foram mensuradas a produção de massa seca de parte aérea e as características nutricionais nos três sistemas de manejo do solo. No sistema plantio direto, avaliou-se a persistência dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo.

3.8.1.1. Produção de massa seca de parte aérea

Após a fragmentação mecânica das coberturas vegetais, foi avaliada a produção de massa seca de parte aérea. Foram realizadas amostragens ao acaso com quadrante de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) em dois pontos representativos de cada parcela. O material coletado no quadrante foi submetido à secagem em estufa com renovação e circulação forçada de ar à temperatura de 60±5 °C, até atingir massa constante. A produção de massa seca de parte aérea foi obtida, dessa maneira, pela média aritmética entre os dois pontos amostrados, com os valores médios extrapolados para kg ha⁻¹.

3.8.1.2. Teor de nitrogênio, fósforo e potássio

Os teores de nitrogênio, fósforo e potássio nas coberturas vegetais foram determinados após a avaliação de produção de massa seca de parte aérea, coletando-se, uma subamostra de aproximadamente 30 g de cada parcela. As determinações de tais nutrientes foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos (UNESP – Câmpus de Ilha Solteira), conforme metodologias descritas por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), com os resultados expressos em g kg⁻¹ de N, P e K.

3.8.1.3. Nitrogênio, fósforo e potássio acumulado

O nitrogênio, fósforo e potássio acumulado pelas coberturas vegetais foram obtidos pelo produto do teor dos respectivos nutrientes determinados nas subamostras (g kg⁻¹) e a produção de massa seca de parte aérea das coberturas vegetais (kg ha⁻¹), com os resultados estimados em kg ha⁻¹ de N, P e K.

3.8.1.4. Persistência dos resíduos vegetais no sistema plantio direto

No sistema plantio direto foi mensurada a persistência dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo. A avaliação foi realizada pelo método do ponto quadrado (SPEDDING; LARGE, 1957), constituído por um quadro de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) com linhas fixadas a cada 5 cm em todos os lados, formando uma grade de 100 pontos nos locais de intersecção das linhas. Foram amostrados dois pontos representativos em cada parcela a cada 30 dias, no período correspondente entre a semeadura e a colheita da cultura (30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura do milho). Desta maneira, a persistência dos resíduos vegetais foi obtida pela média aritmética entre os dois pontos amostrados, com os valores médios expressos em percentual.

3.8.2. CULTURA DO MILHO

Durante o período de desenvolvimento e na colheita das espigas da cultura, em ambos os anos agrícolas, foram mensuradas características morfológicas e nutricionais de plantas, características de espiga, componentes de produção e produtividade da cultura do milho.

3.8.2.1. População inicial e final de plantas

As populações inicial e final de plantas foram determinadas no momento da aplicação do nitrogênio em cobertura e da colheita das espigas da cultura, respectivamente, mediante a contagem das plantas presentes na área útil das parcelas (duas linhas centrais – 9,0 m²). Os valores obtidos foram extrapolados em plantas ha⁻¹.

3.8.2.2. Produção de massa seca de parte aérea

A produção de massa seca de parte aérea foi mensurada quando 50% das plantas apresentavam-se no estágio de florescimento pleno (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003), coletando-se, de maneira contínua na linha de semeadura, cinco plantas representativas na área útil de cada parcela. As plantas foram cortadas rentes à superfície do solo, sendo posteriormente fragmentadas em desintegrador forrageiro (modelo DPM-1/Nogueira[®]) 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 obtidos foram expressos em g planta⁻¹ e em kg ha⁻¹ de massa seca de parte aérea, pela extrapolação dos resultados baseando-se na população final de plantas.

3.8.2.3. Índice de clorofila foliar

A estimativa do teor médio de clorofila foliar foi realizada em condições de campo com a utilização de clorofilômetro portátil marca ClorofiLOG[®], modelo CFL 1030 (Falker Automação Agrícola[®]), que por meio de sensores, analisa três faixas de frequência de luz e pelas relações de absorção de diferentes frequências, fornece medições dos teores das clorofilas *a*, *b* e total (*a+b*), expressas em unidades dimensionais chamadas ICF (Índice de Clorofila Foliar) (FALKER, 2008). As leituras foram realizadas em três épocas (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003): quando 50% das plantas na parcela apresentavam-se com a quinta folha expandida (estádio fenológico da aplicação do nitrogênio em cobertura), dez folhas e no estágio de florescimento pleno. As duas primeiras leituras foram realizadas na porção do terço central do limbo da última folha recentemente desenvolvida (fora do “cartucho”) e na folha oposta e abaixo da espiga principal para a terceira leitura. Foram consideradas aleatoriamente três plantas representativas na área útil de cada parcela.

3.8.2.4. Teor de nitrogênio, fósforo e potássio foliar

Simultaneamente ao registro da terceira leitura do índice de clorofila foliar, com a maioria das plantas ainda no estágio de florescimento pleno (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003), foram coletados os terços centrais dos limbos de dez folhas situadas opostamente e abaixo da espiga principal (MALAVOLTA, 1992; OLIVEIRA, 2004) de plantas presentes na área útil de cada parcela, para avaliação do estado nutricional da cultura. Em seguida, foram submetidos à secagem em estufa com renovação e circulação forçada de ar à temperatura de 60 ± 5 °C, até atingir constância em massa. Após a secagem, os limbos foliares foram moídos em moinho de facas do tipo Wiley, com peneira de 1,0 mm. As determinações de tais nutrientes foram realizadas conforme metodologias descritas por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), com os resultados expressos em g kg^{-1} de N, P e K. As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos (UNESP – Câmpus de Ilha Solteira).

3.8.2.5. Teor de nitrogênio, fósforo e potássio na planta inteira

Os teores de nitrogênio, fósforo e potássio na planta inteira foram determinados após a avaliação de produção de massa seca de parte aérea, coletando-se uma subamostra de aproximadamente 30 g do material de cada parcela. O material coletado foi moído em moinho de facas do tipo Wiley, com peneira de 1,0 mm. As determinações de tais nutrientes foram realizadas conforme metodologias descritas para a determinação dos teores de nitrogênio, fósforo e potássio foliar (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), com os resultados expressos em g kg^{-1} de N, P e K. As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos (UNESP – Câmpus de Ilha Solteira). Vale ressaltar que esta avaliação foi realizada somente no ano agrícola 2010/11.

3.8.2.6. Nitrogênio, fósforo e potássio acumulado

O nitrogênio, fósforo e potássio acumulado foram obtidos pelo produto do teor dos respectivos nutrientes determinados nas subamostras (g kg^{-1}) e a produção de massa seca de parte aérea das plantas (kg ha^{-1}), com os resultados estimados em kg ha^{-1} de N, P e K.

3.8.2.7. Altura de planta

A determinação da altura média de planta foi realizada quando 50% das plantas apresentavam espigas com grãos pastosos (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003). Foi obtida pela medição do comprimento do colmo (distância entre a superfície do solo e a base da folha “bandeira”) com auxílio de régua graduada. Foram avaliadas cinco plantas contínuas na linha de semeadura e representativas da área útil de cada parcela, com os resultados expressos em centímetros.

3.8.2.8. Altura de inserção de espiga

A altura média de inserção de espiga foi obtida pela distância entre a superfície do solo e o ponto de inserção da espiga principal com o colmo, com auxílio de régua graduada. Vale ressaltar que tal determinação foi realizada quando a maioria das plantas apresentava espigas com grãos pastosos (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003), considerando as mesmas plantas utilizadas na determinação da altura média de planta, com os resultados expressos em centímetros.

3.8.2.9. Diâmetro de colmo

Simultaneamente as determinações de altura de planta e de inserção de espiga, foi determinado o diâmetro médio de colmo. Considerou-se, nesta avaliação, o diâmetro do segundo internódio a partir da base da planta, o qual foi mensurado pelo uso de paquímetro digital, modelo CD-6" CSX-B (Mitutoyo Sul Americana[®]), com os resultados expressos em milímetros. Foram consideradas as mesmas plantas utilizadas na obtenção da altura média de planta e de inserção de espiga.

3.8.2.10. Percentual de quebramento de planta

O quebramento de planta foi determinado na área útil das parcelas (duas linhas centrais – 9,0 m²) pelo percentual de colmos quebrados abaixo da inserção da espiga principal, em relação à população final no momento da colheita da cultura.

3.8.2.11. Comprimento de espiga

A determinação do comprimento médio de espiga foi realizada após a colheita e antes da trilha dos grãos, considerando-se aleatoriamente dez espigas despalhadas em cada parcela, as quais foram medidas da base até o ápice com a utilização de régua graduada. Os resultados foram expressos em milímetros.

3.8.2.12. Diâmetro de espiga

O diâmetro médio de espiga foi obtido medindo-se o terço central da espiga. Foram amostradas dez espigas em cada parcela, após a colheita e antes da trilha

dos grãos, sendo essas, as mesmas utilizadas na determinação do comprimento de espiga. Os resultados foram expressos em milímetros.

3.8.2.13. Número de fileiras de grãos por espiga

O número médio de fileiras de grãos da espiga foi determinado pela simples contagem. Foram amostradas dez espigas em cada parcela, após a colheita e antes da trilha dos grãos. Consideraram-se as mesmas espigas utilizadas na determinação do comprimento e diâmetro médio de espiga.

3.8.2.14. Massa de mil grãos

Após a debulha das espigas colhidas na área útil das parcelas, determinou-se a massa média de grãos. Aleatoriamente, foi coletada uma subamostra de 250 grãos por parcela, a qual foi submetida à pesagem em balança de precisão (0,001 g) e à determinação de umidade, possibilitando estimar a massa dos grãos corrigida para 13% de umidade (base úmida – b.u.). Os resultados foram extrapolados para massa de mil grãos. Cabe salientar que a umidade dos grãos foi obtida pelo método elétrico não-destrutivo indireto, mediante o uso do aparelho portátil modelo *Multi-Grain* (Dickey-John[®]), o qual propicia leitura direta em display digital.

3.8.2.15. Produtividade

A produtividade foi obtida a partir da debulha e pesagem dos grãos oriundos das espigas colhidas na área útil das parcelas (duas linhas centrais – 9,0 m²). Os valores obtidos foram extrapolados para kg ha⁻¹ e corrigidos para 13% de umidade (b.u.).

3.9. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Os resultados não foram transformados, tendo-se em vista a constatação de baixo coeficiente de variação experimental para a maioria das características mensuradas. O esquema da análise de variância utilizado, mostrando as fontes de variação, os graus de liberdade, os quadrados médios e a obtenção dos valores do teste F, é apresentado na Tabela 6. Utilizou-se o software Statistical Analysis System Institute – SAS (1994) para as análises.

Tabela 6- Esquema da análise de variância para o delineamento em blocos ao acaso, esquema misto com faixas e fatorial. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).

Fonte de variação	GL teórico	GL real (n°)	QM	Valor F
Bloco (B)	(b-1)	3	QM ₁	QM ₁ /QM ₃
Cobertura (C)	(c-1)	2	QM ₂	QM ₂ /QM ₃
B x C (<i>Erro a</i>)	(b-1)x(c-1)	6	QM ₃	–
Manejo (M)	(m-1)	2	QM ₄	QM ₄ /QM ₅
B x M (<i>Erro b</i>)	(b-1)x(m-1)	6	QM ₅	–
Dose (D)	(d-1)	3	QM ₆	QM ₆ /QM ₇
B x D (<i>Erro c</i>)	(b-1)x(d-1)	9	QM ₇	–
C x M	(c-1)x(m-1)	4	QM ₈	QM ₈ /QM ₁₂
C x D	(c-1)x(d-1)	6	QM ₉	QM ₉ /QM ₁₂
M x D	(m-1)x(d-1)	6	QM ₁₀	QM ₁₀ /QM ₁₂
C x M x D	(c-1)x(m-1)x(d-1)	12	QM ₁₁	QM ₁₁ /QM ₁₂
Resíduo	[d(cm-1)-(c-1)-(m-1)](b-1)	84	QM ₁₂	–
Total	cmdb-1	143	–	–

Legenda: GL – graus de liberdade; QM – quadrado médio.

Os resultados foram submetidos ao teste F da análise de variância (ANOVA). Quando constatada interação significativa entre as fontes de variação, procedeu-se o desdobramento, comparando as médias de cobertura vegetal e de sistema de manejo do solo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$), de acordo com Pimentel Gomes e Garcia (2002).

Por se tratar de fator quantitativo, as médias de dose de nitrogênio em cobertura foram analisadas por regressão polinomial (BANZATTO; KRONKA, 2006), ajustando-se modelos de equações lineares e quadráticas significativas pelo teste F ($p < 0,01$ e $p < 0,05$), para melhor discussão dos resultados. Quando ambas as equações apresentaram significância, foi feita a opção por aquela com maior valor de F. Na análise de regressão para dose de nitrogênio foram utilizadas como variável “x” os valores reais das doses (0, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio) e como variável “y”, as variáveis dependentes. Dessa maneira, a equidistância entre as doses foi considerada pelas análises, que são feitas pelo método dos quadrados mínimos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO PERÍODO EXPERIMENTAL

As condições climáticas transcorridas durante a condução dos experimentos (Figuras 1 e 2) demonstram que a precipitação pluvial e a temperatura do ar (mínima e máxima) não constituíram, de modo geral, fatores limitantes ao desenvolvimento adequado da cultura do milho nos anos agrícolas 2009/10 e 2010/11. Porém, para o estabelecimento adequado das coberturas vegetais fez-se necessário a utilização de irrigação complementar em ambos os anos agrícolas, em virtude da desuniformidade na distribuição de chuva após a semeadura e emergência das plântulas.

Durante o ciclo da cultura do milho no ano agrícola 2009/10 (137 dias), o total de precipitação pluvial registrado foi de 918 mm (57% do total registrado no referido ano – 1.614 mm), correspondendo a uma média de 6,7 mm dia⁻¹. No ano agrícola 2010/11, o total de precipitação pluvial registrado durante o ciclo da cultura (125 dias) foi de 1.084 mm (62% do total registrado no referido ano – 1.744 mm), portanto, média de 8,7 mm dia⁻¹. O total de precipitação pluvial evidenciado, em ambos os anos agrícolas, ficou acima da exigência média do milho. A literatura tem mostrado que a cultura exige, em média, entre 350 e 500 mm de precipitação pluvial para que produza satisfatoriamente (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004), sem a necessidade de irrigação. Entretanto, estes valores são variáveis, principalmente em função da região de cultivo e das condições edafoclimáticas. As máximas produtividades são observadas quando o consumo de água durante todo o ciclo está entre 500 e 800 mm (FANCELLI, 2001). Perante tais constatações de precipitação pluvial, associadas à ausência de períodos de estiagem durante o desenvolvimento da cultura, descartou-se a necessidade de irrigação complementar no milho.

No período do verão, o regime pluvial na região em que os experimentos foram conduzidos não impede o desenvolvimento da maioria das culturas exploradas economicamente. Em condições de clima quente e seco, o consumo de água raramente excede 3 mm dia⁻¹ quando a planta apresenta em torno de 30 cm de altura e, no período que vai do início do florescimento à maturação fisiológica, pode

atingir valores entre 5 e 7 mm dia⁻¹ (LANDAU; SANS; SANTANA, 2010). Para fins de planejamento e manejo da irrigação complementar, considera-se 4 mm dia⁻¹ como sendo o consumo médio diário pelo milho, independente do estágio fenológico em que a cultura se encontra.

A falta de água no solo afeta todos os aspectos ligados ao desenvolvimento das plantas, reduz a área foliar e diminui a taxa fotossintética. Contudo, no início do ciclo de desenvolvimento da cultura, a ocorrência de curtos períodos de déficit hídrico pode estimular o desenvolvimento radicular das plantas. Assim, a planta pode explorar maior volume maior de solo, absorvendo mais eficientemente água e nutrientes (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004). Por outro lado, o déficit hídrico no período de florescimento do milho, mesmo que em curta duração, apresenta-se como um fator de restrição a produtividade (LIANG; REMILLARD; MACKENZIE, 1992), reduzindo, principalmente, o número de grãos por espiga (BERGONCI et al., 2001). Nessas condições, o uso da irrigação torna-se fundamental, pois é nessa fase que ocorrem os maiores efeitos do déficit hídrico e também a maior eficiência do uso da irrigação, tanto na produção de massa seca quanto na produtividade. Os períodos de déficit hídrico de uma semana por ocasião do início do florescimento podem promover queda de produtividade ao redor de 40 a 50%, ao passo que sob as mesmas condições de déficit hídrico posteriores a plena fecundação, acarretará danos da ordem de 25 a 32%. Penariol et al. (2003) destacam que a produtividade de milho pode ficar comprometida se a deficiência hídrica coincidir com o período do florescimento, fase que determina a quantidade de óvulos a serem fecundados e, por consequência, a produção de grãos.

Os dados de temperatura do ar, fator que intervém em quase todos os processos fisiológicos da planta (FORNASIERI FILHO, 2007), principalmente no desenvolvimento do sistema radicular, na absorção de nutrientes e de água, na fotossíntese, respiração e translocação, também foram adequados para o desenvolvimento da cultura, haja vista que o milho produz melhor em temperaturas moderadas (DIDONET et al., 2002) e que as variações constatadas foram entre 16,4 e 37,4 °C no ano agrícola 2009/10 e entre 15,9 e 36,6 °C no ano agrícola 2010/11. A temperatura do ar ideal durante o dia é cerca de 27 °C. Ao contrário da crença popular, elevadas temperaturas noturnas não são benéficas para a produção de milho (HOEFT, 2003), pois proporcionam redução acentuada do ciclo da planta, em função do incremento da somatória térmica (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004) e

redução na taxa fotossintética líquida, em função do aumento da respiração. Por essa razão, temperaturas elevadas prevaletes no período noturno (>24 °C) promovem consumo energético demasiado (FLOSS, 2008) e contribuem para o menor acúmulo e translocação de fotoassimilados para os grãos.

Embora o milho responda à interação dos diversos fatores climáticos, os de maior influência sobre a cultura são a radiação solar, a precipitação pluvial e a temperatura do ar (BRACHTVOGEL et al., 2009; LANDAU; SANS; SANTANA, 2010) e o vento (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004). Estes fatores atuam eficientemente nas atividades fisiológicas interferindo diretamente na produtividade e na massa seca das plantas.

Diante de tais fatores, para a região em que o estudo foi desenvolvido, é recomendável a busca de sistemas de cultivos que mantenham a superfície do solo protegida com resíduos vegetais, como por exemplo, o sistema plantio direto (KAPPES, 2010). O material orgânico depositado sobre o solo, além de ser importante fonte de nutrientes, melhora as condições físicas e biológicas, diminui a amplitude térmica e a evaporação, aumenta a capacidade de retenção de água e é responsável, em grande parte, pela CTC do solo, constituindo-se em uma alternativa para exploração agrícola, principalmente na ocorrência constante de veranicos.

4.2. COBERTURAS VEGETAIS (2009/10 e 2010/11)

O resumo da análise de variância referente à produção de massa seca de parte aérea e as características nutricionais das coberturas vegetais nos três sistemas de manejo do solo é apresentado nas Tabelas 7, 8 e 9, com os valores de F calculados para os fatores testados e suas respectivas interações e significâncias, bem como as médias observadas em ambos os anos agrícolas. Encontra-se na Tabela 7, o resumo da análise de variância e os valores médios de produção de massa seca de parte aérea e teor de nitrogênio nas coberturas vegetais. O resumo da análise de variância e os valores médios de teores de fósforo e de potássio nas coberturas vegetais, em função de sistemas de manejo do solo, estão inseridos na Tabela 8. Na Tabela 9 são apresentados o resumo da análise de variância e os

valores médios de quantidade de nitrogênio, fósforo e potássio acumulada na massa seca de parte aérea das coberturas vegetais. Os resultados da análise de variância para a persistência dos resíduos das coberturas vegetais no sistema plantio direto em função de dose de nitrogênio em cobertura no milho para os anos agrícolas 2009/10 e 2010/11 são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 10 e 11, com os valores de F calculados para os fatores testados e suas respectivas interações e significâncias, além das médias observadas.

Com relação às variações relativas das características mensuradas, medidas pelo coeficiente de variação e segundo classificação sugerida por Pimentel Gomes (2000), as médias de produção de massa seca de parte aérea das coberturas vegetais apresentaram, em ambos os anos agrícolas, coeficientes de variação considerados baixos (<10%). Do mesmo modo, baixos coeficientes de variação (<10%) também foram verificados com as médias de teores de nitrogênio e de potássio nas coberturas vegetais no ano agrícola 2010/11 e com as médias de persistência dos resíduos vegetais no sistema plantio direto no ano agrícola 2009/10. Tais resultados conferem boa precisão experimental, homogeneidade dos dados e pouca variação ocorrida (CARVALHO et al., 2003). Os experimentos com baixa precisão podem fazer com que se obtenham conclusões incorretas dos resultados, aumentando-se a probabilidade de ocorrência de erro tipo II, ou seja, apontar igualdade entre tratamentos quando realmente existe diferença. Como efeito, a decisão errada prejudica a adoção de novas tecnologias por não permitir a indicação do melhor resultado para o agricultor (JUDICE, 2000).

Em contrapartida, no presente estudo, as médias de teores de nitrogênio e de potássio nas coberturas vegetais no ano agrícola 2009/10, teor de fósforo e quantidade de nitrogênio, fósforo e potássio acumulada na massa seca de parte aérea das coberturas vegetais em ambos os anos agrícolas e a persistência dos resíduos vegetais no sistema plantio direto no ano agrícola 2010/11 (30 e 60 dias após a semeadura do milho) apresentaram coeficientes de variação classificados como médios (entre 10 e 20%), conforme Pimentel Gomes (2000). Obtiveram-se altos coeficientes de variação (entre 20 e 30%), apenas com as médias de persistência dos resíduos vegetais no sistema plantio direto no ano agrícola 2010/11, aos 90 e 120 dias após a semeadura do milho.

Tabela 7- Resumo da análise de variância e valores médios de produção de massa seca de parte aérea (MSPA) e teor de nitrogênio nas coberturas vegetais sob diferentes manejos do solo. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).

Tratamentos	MSPA		Nitrogênio	
	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11
	kg ha ⁻¹		g kg ⁻¹	
Cobertura vegetal (C)				
Milheto	7.765 b	9.323 b	8,2 b	9,0 b
Crotalária	10.047 a	14.377 a	14,2 a	15,2 a
Milheto + crotalária	9.880 a	12.554 a	13,4 a	14,9 a
DMS (5%)	1.433	2.915	2,1	3,4
Manejo do solo (M)⁽¹⁾				
E + GL	8.814	10.730 b	11,7	11,9
GP + GL	9.063	12.874 a	12,2	13,3
SPD	9.814	12.650 a	11,8	14,0
DMS (5%)	–	1.616	–	–
Valor de F ⁽²⁾	C	14,8 **	14,5 **	45,1 **
	M	1,1	10,0 **	0,3
	C x M	1,5	2,1	1,3
CV (%)	9	9	11	8
Média geral	9.231	12.085	11,9	13,0

⁽¹⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.

⁽²⁾ Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey. CV – coeficiente de variação experimental.

Tabela 8- Resumo da análise de variância e valores médios de teores de fósforo e de potássio nas coberturas vegetais sob diferentes manejos do solo. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).

Tratamentos	Fósforo		Potássio		
	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	
g kg ⁻¹					
Cobertura vegetal (C)					
Milheto	2,4	1,9 b	20,0 a	21,8 a	
Crotalária	2,5	2,4 a	14,6 b	18,3 b	
Milheto + crotalária	2,6	2,6 a	17,6 ab	22,2 a	
DMS (5%)	–	0,4	3,1	2,6	
Manejo do solo (M)⁽¹⁾					
E + GL	2,5	2,1 b	17,2	19,1	
GP + GL	2,6	2,3 ab	18,0	20,8	
SPD	2,4	2,4 a	17,0	22,3	
DMS (5%)	–	0,3	–	–	
Valor de F ⁽²⁾	C	2,1	19,4 **	14,4 **	5,3 *
	M	0,4	5,6 *	0,6	3,3
	C x M	0,1	1,0	1,3	1,0
CV (%)	12	10	11	8	
Média geral	2,5	2,3	17,4	20,7	

⁽¹⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.

⁽²⁾ Teste F: ** e * – significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey. CV – coeficiente de variação experimental.

Tabela 9- Resumo da análise de variância e valores médios de nitrogênio (N_A), fósforo (P_A) e potássio acumulado (K_A) na massa seca de parte aérea de coberturas vegetais sob diferentes manejos do solo. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).

Tratamentos	N_A		P_A		K_A		
	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	
_____ kg ha ⁻¹ _____							
Cobertura vegetal (C)							
Milheto	64,2 b	84,4 b	18,3 b	17,6 b	156,1	204,1	
Crotalária	142,1a	219,5a	24,9 a	35,0 a	146,6	265,2	
Milheto + crotalária	132,4a	188,1a	26,2 a	32,7 a	173,0	279,8	
DMS (5%)	31,1	69,7	5,5	9,9	–	–	
Manejo do solo (M)⁽¹⁾							
E + GL	105,9	131,8 b	22,3	23,4 b	150,5	203,8 b	
GP + GL	115,8	176,5ab	23,5	30,8 a	161,2	264,6ab	
SPD	117,0	183,6a	23,6	31,1 a	164,0	280,7a	
DMS (5%)	–	47,8	–	5,1	–	76,5	
Valor de F ⁽²⁾	C	35,1 **	19,3 **	10,9 **	17,1 **	2,6	4,1
	M	0,4	6,5 *	0,2	13,1 **	0,4	5,3 *
	C x M	1,0	2,7	0,6	0,3	1,7	0,1
CV (%)	18	11	16	15	18	14	
Média geral	112,9	164,0	23,1	28,4	158,6	249,7	

⁽¹⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.

⁽²⁾ Teste F: ** e * – significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey. CV – coeficiente de variação experimental.

Tabela 10- Resumo da análise de variância e valores médios de persistência dos resíduos de coberturas vegetais no sistema plantio direto sob diferentes doses de nitrogênio em cobertura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10).

Tratamentos	Persistência dos resíduos vegetais (%)				
	30 dias	60 dias	90 dias	120 dias	
Cobertura vegetal (C)					
Milheto	88	79	56	34	
Crotalária	87	80	58	35	
Milheto + crotalária	87	79	58	34	
Dose de N (D)					
0 kg ha ⁻¹	88	79	57	34	
60 kg ha ⁻¹	88	78	57	34	
90 kg ha ⁻¹	89	80	58	34	
120 kg ha ⁻¹	86	81	58	35	
Valor de F ⁽¹⁾	C	1,3	0,5	1,3	0,7
	D	2,5	0,9	0,1	2,1
	C x D	0,6	0,8	0,8	1,4
CV (%)	3	4	5	5	
Média geral	87	79	57	34	

⁽¹⁾ Teste F. CV – coeficiente de variação experimental.

Tabela 11- Resumo da análise de variância e valores médios de persistência dos resíduos de coberturas vegetais no sistema plantio direto sob diferentes doses de nitrogênio em cobertura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).

Tratamentos	Persistência dos resíduos vegetais (%)				
	30 dias	60 dias	90 dias	120 dias	
Cobertura vegetal (C)					
Milheto	98 a	89	70 a	43 a	
Crotalária	89 b	80	53 b	33 b	
Milheto + crotalária	96 a	86	59 ab	37 ab	
DMS (5%)	4	–	12	7	
Dose de N (D)					
0 kg ha ⁻¹	95	86	60	38	
60 kg ha ⁻¹	92	83	59	36	
90 kg ha ⁻¹	95	86	64	38	
120 kg ha ⁻¹	94	84	60	37	
Valor de F ⁽¹⁾	C	11,5 **	2,9	5,8 *	5,6 *
	D	0,8	0,2	0,2	0,2
	C x D	0,5	0,9	0,6	0,7
CV (%)	11	12	24	23	
Média geral	94	85	61	37	

⁽¹⁾ Teste F: ** e * – significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey. CV – coeficiente de variação experimental.

4.2.1. Produção de massa seca de parte aérea

As quantidades de massa seca de parte aérea acumulada pela crotalária e pelo consórcio milho + crotalária foram maiores comparativamente ao milho em ambos os anos agrícolas (Tabela 7). Silva et al. (2006b) estudaram o manejo do nitrogênio no milho em sistema plantio direto sob diferentes coberturas vegetais e ao término da pesquisa, também verificaram maior produção de massa seca de parte aérea da *Crotalaria juncea* em comparação ao milho. Entretanto, Carvalho et al. (2004), nas mesmas condições de solo e clima do presente estudo, constataram maior produção de massa seca do milho em relação a *Crotalaria juncea*, em um dos anos agrícolas em que o estudo foi conduzido. Não obstante, no Cerrado,

Francisco et al. (2011b), avaliaram coberturas vegetais antecedendo o cultivo do milho em Latossolo Vermelho distrófico de textura muito argilosa e observaram maior quantidade de massa seca de parte aérea no milheto em relação à crotalária. Porém, tais pesquisadores utilizaram a *Crotalaria ochroleuca*. Bertin, Andrioli e Centurion (2005), após avaliarem coberturas vegetais em pré-safra ao milho em sistema plantio direto, num Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa, não constataram diferença entre a produção de massa seca do milheto e da *Crotalaria juncea*.

Nesse contexto, no ano agrícola 2009/10, as quantidades de massa seca de parte aérea acumulada pela crotalária e pelo consórcio milheto + crotalária foram, respectivamente, de 29 e 27% superior a do milheto. Os percentuais de incrementos corroboram com os obtidos por Perin et al. (2004), os quais relataram acréscimo de 31% na massa seca da *Crotalaria juncea* em relação ao milheto. No ano agrícola 2010/11, os incrementos foram maiores, sendo que as quantidades de massa seca de parte aérea acumulada pela crotalária e pelo consórcio milheto + crotalária foram, respectivamente, 54 e 35% superior a do milheto.

Embora as produções médias de massa seca de parte aérea da crotalária tenham sido semelhantes às obtidas por Silva et al. (2006b), é oportuno ressaltar que nos anos agrícolas 2009/10 ($10.047 \text{ kg ha}^{-1}$) e 2010/11 ($14.377 \text{ kg ha}^{-1}$), estas ficaram acima do que é comumente relatada para a cultura, que é entre 6.000 e 8.000 kg ha^{-1} por ciclo, conforme Formentini et al. (2008). Portanto, as altas produções comprovam, além da excelente produção de massa seca em curto período de tempo, o rápido desenvolvimento da crotalária (FREITAS et al., 2003; FORMENTINI et al., 2008; KAPPES, 2011), pois considerando a época em que esta foi manejada quimicamente nos anos agrícolas 2009/10 e 2010/11, evidencia-se acúmulos diários médios de 176,3 e $281,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de massa seca de parte aérea, respectivamente.

Ao mesmo tempo, as elevadas produções de massa seca da crotalária podem ser justificadas pela alta quantidade de sementes utilizada nos experimentos. Recomenda-se na semeadura, 22 a 27 sementes por metro de sulco, no espaçamento de 0,5 m entre as linhas (FREITAS et al., 2003; FORMENTINI et al., 2008). Em estudo realizado num Argissolo Vermelho-Amarelo e em duas épocas de semeadura, Pereira et al. (2005) observaram que a produção de massa seca de parte aérea da *Crotalaria juncea* foi elevada com o aumento da densidade de

plantas e redução do espaçamento entre as linhas de semeadura. No período outono-inverno, os referidos pesquisadores verificaram maior produção de massa seca de parte aérea (6.800 kg ha^{-1}) com linhas espaçadas de 0,3 m, na densidade de 40 plantas por metro. No período primavera-verão, a maior produção de massa seca de parte aérea foi obtida no espaçamento de 0,3 m entre as linhas com a densidade de 30 plantas por metro, alcançando $10.700 \text{ kg ha}^{-1}$, condizente com as quantidades médias verificadas para a crotalária no presente estudo.

As produções médias de massa seca de parte aérea do milho assemelharam-se as obtidas por outros pesquisadores (SALTON; KICHEL, 1998; OLIVEIRA; CARVALHO; MORAES, 2002; BRAZ et al., 2004; BERTIN; ANDRIOLI; CENTURION, 2005; SILVA et al., 2006b; PERIN et al., 2010). Os acúmulos diários médios de massa seca do milho foram de 131,6 e 186,5 kg ha^{-1} nos anos agrícolas 2009/10 e 2010/11, respectivamente, comprovando o seu potencial produtivo de massa seca em curto período de tempo (BORTOLINI; SILVA; ARGENTA, 2000). Segundo Salton e Kichel (1998), o milho tem acumulado diariamente, em torno de $112,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de massa seca, equivalente a um total de 6.800 kg ha^{-1} . Ressalta-se, entretanto, que a produção de massa seca depende, além das condições intrínsecas de solo e clima local, também da época de cultivo das mesmas, em virtude do fotoperíodo (SILVA et al., 2006b). Portanto, o fato de o milho e a crotalária serem consideradas plantas de dias curto (LANDAU, PEREIRA FILHO, 2010), pode, também, justificar as elevadas produções de massa seca obtidas, haja vista que estas foram cultivadas no período inverno/primavera.

Apesar do maior potencial de aporte de nutrientes da crotalária, sobretudo de nitrogênio, nas regiões de Cerrado, as poáceas têm sido mais utilizadas como plantas de cobertura, com destaque para o milho (SALTON; KICHEL, 1998) e as braquiárias (KLUTHCOUSKI; AIDAR, 2003), devido a sua maior resistência ao déficit hídrico com considerável produção de biomassa, adaptabilidade aos solos ácidos e de baixa fertilidade (SANTOS et al., 2010a) e ao menor custo das sementes. Além disso, elevadas temperaturas associadas à alta umidade no verão promoverem rápida decomposição dos resíduos vegetais de baixa relação C/N (AMABILE; FANCELLI; CARVALHO, 2000; GONÇALVES; CERETTA; BASSO, 2000; GUIMARÃES et al., 2003; LARA CABEZAS et al., 2004), como é o caso das fabáceas. Contudo, a maior parte das áreas cultivadas em sistema plantio direto, principalmente as regiões de Cerrado, permanece em pousio na entressafra, muitas

vezes, em razão do desconhecimento dos benefícios das coberturas vegetais para a manutenção do potencial produtivo (CALEGARI, 2004) e conservação do solo.

No ano agrícola 2010/11, a quantidade de massa seca de parte aérea das coberturas vegetais foi influenciada, isoladamente, pelo manejo do solo (Tabela 7). Nota-se que o manejo do solo com “grade pesada” + “grade leve” e sistema plantio direto proporcionou maior produção de massa seca de parte aérea das coberturas vegetais quando comparado com o manejo do solo com escarificador + “grade leve”. Segundo Alvarenga et al. (2001), o sistema plantio direto propicia ambiente favorável ao desenvolvimento das culturas. Carvalho et al. (2004), avaliando manejos do solo, não verificaram diferença no acúmulo de massa seca de parte aérea de coberturas vegetais (mucuna preta, feijão guandu, *Crotalaria juncea* e milho) quando o solo foi manejado com “grade pesada” e sistema plantio direto, corroborando apenas, com os resultados obtidos no primeiro ano de cultivo do presente estudo.

4.2.2. Teor de nitrogênio

O manejo do solo não influenciou o teor de nitrogênio nas coberturas vegetais, ao passo que, em ambos os anos agrícolas, a crotalária e o consórcio milho + crotalária apresentaram maior teor do nutriente, comparativamente ao milho (Tabela 7). Resultados similares também foram verificados por outros pesquisadores (SCIVITTARO et al., 2000; RAMOS et al., 2001; PERIN et al., 2004; SILVA et al., 2006b; SILVA et al., 2009a).

O menor teor de nitrogênio na massa seca do milho, em relação à crotalária e milho + crotalária, pode ser justificado, em parte, pelo metabolismo fotossintético da cultura. Nas plantas de metabolismo fotossintético C₃, como é o caso da crotalária (ROSOLEM; CALONEGO; FOLONI, 2005), existe a necessidade de grandes investimentos de nitrogênio na formação das enzimas RuBPCarboxilase (Rubisco), que representam aproximadamente 50% do total de proteínas solúveis presentes nas folhas, acarretando geralmente em maior teor de nitrogênio no tecido e menor relação C/N dos restos culturais. Em contrapartida, nas espécies de metabolismo fotossintético C₄, como é o caso do milho (LANDAU, PEREIRA

FILHO, 2010), por serem mais eficientes na fixação de gás carbônico, exigindo menos nitrogênio para a formação dos complexos enzimáticos envolvidos nessa fixação (menos de 10% do nitrogênio total na formação da Rubisco e de 2 a 5% na formação da enzima PEPcarboxilase), há maior disponibilização de nitrogênio para a formação de novos tecidos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2009), levando, de maneira geral, a redução no teor de nitrogênio no tecido, o que é comumente denominado de “efeito diluição” (FOLONI et al., 2008).

Portanto, no presente trabalho, os menores teores de nitrogênio obtidos na massa seca do milheto, podem ser justificados fisiologicamente, em razão da maior capacidade de produção de massa seca por unidade de nitrogênio absorvido pelas plantas, baseando-se na argumentação dos referidos pesquisadores. Tal justificativa corrobora com as observações realizadas no estudo de Foloni et al. (2008), ao avaliarem o teor e acúmulo de nitrogênio, e a relação C/N de restos vegetais de duas coberturas vegetais, uma tropical de metabolismo C₄ (milheto) e outra de clima temperado C₃ (aveia preta).

Todavia, a supremacia da crotalária no teor de nitrogênio na massa seca é atribuída a sua capacidade de fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico (AITA et al., 2001; AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002; OHLAND et al., 2005; KAPPES, 2011) e de reciclagem de nitrogênio das camadas profundas do solo (GONÇALVES; CERETTA; BASSO, 2000). Alguns estudos com coberturas vegetais, marcados com ¹⁵N, indicam que a maior proporção do nitrogênio da biomassa dessas plantas tem, como destino, o solo (HARRIS; HESTERMAN, 1990). Assim, o cultivo de coberturas vegetais pode favorecer outras culturas em rotação ou sucessão, graças ao efeito residual (SCIVITTARO et al., 2000; AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002) e, também, com o tempo, incrementar o teor de matéria orgânica do solo, o qual está diretamente relacionado com a adição de nitrogênio ao solo, seja pela fixação biológica do nitrogênio atmosférico, seja por meio da adição de fertilizantes minerais ou orgânicos (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002; SÁ et al., 2003; LOPES et al., 2004). No entanto, apesar de que alguns estudos indicam que a maior proporção do nitrogênio contido na biomassa das coberturas vegetais tem como destino o solo, a maioria dos trabalhos revela que, o aproveitamento do nitrogênio proveniente da decomposição dos resíduos de crotalária é maior que o fornecido pelo milheto (SILVA et al., 2006b; SILVA et al., 2009a).

4.2.3. Teor de fósforo

No ano agrícola 2009/10, o teor de fósforo nas coberturas vegetais não foi influenciado por nenhum dos fatores considerados (Tabela 8). Em contrapartida, no ano agrícola 2010/11, o teor de fósforo foi distinto em função da cobertura vegetal e manejo do solo, isoladamente. No referido ano de cultivo, observa-se maior teor de fósforo na crotalária e no consórcio milheto + crotalária quando comparada ao milheto, resposta similar a verificada com o teor de nitrogênio (Tabela 7). O presente resultado ratifica, dessa maneira, as afirmações de Perin et al. (2007).

O sistema plantio direto, no ano agrícola 2010/11, proporcionou maior teor de fósforo na massa seca de parte aérea das coberturas vegetais, embora esta superioridade não tenha sido estatisticamente diferente quando comparada com o manejo do solo com “grade pesada” + “grade leve”. De modo geral, embora o manejo com escarificador + “grade leve” tenha propiciado menor teor de fósforo nas coberturas vegetais, os teores de fósforo no solo da área experimental são adequados nos três sistemas de manejo (SOUSA; LOBATO, 2004) (Tabelas 2 e 3), fato que reflete o suficiente suprimento deste nutriente às coberturas vegetais, notadamente no segundo ano de cultivo, em que pode ter ocorrido efeito mais pronunciado da calagem realizada no ano agrícola 2009/10.

4.2.4. Teor de potássio

Assim como observado com o nitrogênio, em ambos os anos agrícolas, o manejo do solo não influenciou o teor de potássio nas coberturas vegetais (Tabela 8). Porém, no ano agrícola 2009/10, a massa seca do milheto apresentou maior teor de potássio, apesar de que não tenha se observado diferença estatística em relação ao consórcio milheto + crotalária. Comparativamente a crotalária no ano agrícola 2010/11, maior teor de potássio foi verificado na massa seca de parte aérea do milheto e do consórcio milheto + crotalária, demonstrando o potencial da poácea na reciclagem desse nutriente no solo.

O fato de o maior teor de potássio ter sido constatado na massa seca de parte aérea do milho pode ser explicado pelas próprias características dessa cultura, tais como: (i) maior exigência de potássio e nitrogênio, seguindo de cálcio, magnésio, fósforo e enxofre (SANTOS et al., 2010a) e; (ii) sistema radicular profundo (MAGALHÃES; DURÃES, 2010), característica que pode ter favorecido a reciclagem do nutriente das camadas mais profundas do solo.

Deve-se considerar, ainda, que as quantidades de nitrogênio, fósforo e potássio recicladas pelas coberturas vegetais estão subestimadas, em virtude de não estar sendo considerados os nutrientes contidos no sistema radicular dessas. Silva et al. (2009a), apesar de que tenham constatado maior teor de nitrogênio na parte aérea da *Crotalaria juncea* e do milho do que o sistema radicular, as diferenças não foram tão pronunciadas: 23,9 vs 19,5 g kg⁻¹ na parte aérea vs sistema radicular da crotalária, respectivamente e; 17,5 vs 11,9 g kg⁻¹ na parte aérea vs sistema radicular do milho, respectivamente.

4.2.5. Nitrogênio acumulado

A quantidade de nitrogênio acumulada na massa seca de parte aérea foi influenciada, isoladamente, pela cobertura vegetal no ano agrícola 2009/10 e pela cobertura vegetal e manejo do solo no ano agrícola 2010/11 (Tabela 9). A crotalária e o milho + crotalária apresentaram, em ambos os anos agrícolas, maior quantidade de nitrogênio acumulada na massa seca de parte aérea comparativamente ao milho. A maior quantidade de nitrogênio acumulada pela crotalária era de se esperar, em razão de ser uma fabácea com capacidade de fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico (AITA et al., 2001; AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002; OHLAND et al., 2005; KAPPES, 2011) e de reciclagem de nitrogênio das camadas profundas do solo (GONÇALVES; CERETTA; BASSO, 2000). Sobretudo, a maior produção de massa seca de parte aérea associada ao maior teor de nitrogênio na crotalária e no consórcio milho + crotalária em ambos os anos agrícolas (Tabela 7), devem ser levados em consideração, pois, tais

resultados contribuíram para a maior quantidade de nitrogênio acumulada, tanto pela crotalária quanto pelo consórcio milheto + crotalária.

Comparativamente ao milheto, a crotalária incrementou em 121 e 160% a quantidade de nitrogênio acumulada na massa seca de parte aérea nos anos agrícolas 2009/10 e 2010/11, respectivamente. Esses percentuais demonstram a importância e o potencial da crotalária em introduzir nitrogênio nos sistemas de produção agrícola. Ademais, o sistema de sucessão à crotalária deve ser recomendado em virtude não só do maior aporte de nitrogênio proporcionado, mas também, por promover a rotação de culturas, quebrando ciclos de insetos praga e doenças, supressão de plantas daninhas e, etc. (CALEGARI, 2004). Os maiores aportes de nitrogênio, propiciados pela crotalária e pelo milheto + crotalária corroboram com os resultados observados por Silva et al. (2006b), em que a quantidade de nitrogênio acumulada na parte aérea da *Crotalaria juncea* foi maior em relação ao milheto e, por Bertin, Andrioli e Centurion (2005), em que a quantidade de nitrogênio acumulada na parte aérea foi mais expressiva na *Crotalaria juncea* e no feijão de porco, comparadas ao milheto e lablabe.

As quantidades de nitrogênio recicladas pelo milheto, em ambos os anos agrícolas, embora semelhantes às obtidas por Silva et al. (2006b), ficaram muito aquém das quantidades verificadas por Oliveira, Carvalho e Moraes (2002), Braz et al. (2004) e Bertin, Andrioli e Centurion (2005), as quais foram, respectivamente, 162,7, 221,6 e 119,9 kg ha⁻¹ de nitrogênio, perante produções similares de massa seca, num intervalo entre 52 e 55 dias após a germinação do milheto.

O sistema plantio direto, no ano agrícola 2010/11, favoreceu maior acúmulo de nitrogênio na massa seca de parte aérea das coberturas vegetais, embora tal supremacia não tenha sido estatisticamente distinta quando comparada ao manejo do solo com “grade pesada” + “grade leve”. Apesar de que o sistema plantio direto propicie ambiente favorável ao desenvolvimento das culturas (ALVARENGA et al., 2001), a maior quantidade de nitrogênio acumulada nas coberturas vegetais cultivadas nesse sistema e no solo manejado com “grade pesada” + “grade leve” (Tabela 9), é atribuída à elevada produção de massa seca das coberturas vegetais nessas condições de cultivo, haja vista que o manejo de solo não alterou o teor de nitrogênio nos resíduos das coberturas vegetais (Tabela 7) e que a quantidade acumulada foi obtida em função do teor do nutriente e da produção de massa seca.

4.2.6. Fósforo acumulado

Semelhante ao nitrogênio, a quantidade de fósforo acumulada na massa seca de parte aérea foi influenciada, isoladamente, pela cobertura vegetal no ano agrícola 2009/10 e pela cobertura vegetal e manejo do solo no ano agrícola 2010/11 (Tabela 9). Nota-se que a crotalária e o milheto + crotalária apresentaram, em ambos os anos agrícolas, maior quantidade de fósforo acumulada na massa seca comparativamente ao milheto. Este resultado pode ser atribuído à maior produção de massa seca da crotalária e do milheto + crotalária nos dois anos agrícolas (Tabela 7), em virtude de que para um mesmo teor do nutriente, associado às maiores produções de massa seca, conseqüentemente, maior é a quantidade total acumulada. A quantidade de fósforo reciclada pelo milheto foi semelhante à obtida por Marques et al. (2002), em que o milheto, semeado sem adubação num solo com 22 mg dm^{-3} de fósforo na camada de 0,0 a 0,2 m, reciclou 16 kg ha^{-1} do nutriente, diante da produção de 7.100 kg ha^{-1} de massa seca em um período de 50 dias.

No que se refere ao efeito de manejo do solo no ano agrícola 2010/11, a utilização de “grade pesada” + “grade leve” e sistema plantio direto proporcionou maior quantidade de fósforo acumulada na massa seca de parte aérea das coberturas vegetais comparativamente ao manejo com escarificador + “grade leve”. É pertinente ressaltar que as maiores quantidades de fósforo acumuladas nas coberturas vegetais cultivadas nesses sistemas de manejo do solo, são atribuídas à elevada produção de massa seca das coberturas vegetais nessas condições de cultivo (Tabela 7) e ao maior teor do nutriente nos resíduos das coberturas vegetais (Tabela 8), tendo em vista que a quantidade acumulada foi obtida em função do teor do nutriente e da produção de massa seca.

4.2.7. Potássio acumulado

Além do nitrogênio, as coberturas vegetais apresentam grande potencial como condicionadoras de outros nutrientes para as culturas subsequentes, com

destaque para o potássio, o qual geralmente é rapidamente liberado dos resíduos, por não fazer parte de nenhum composto celular no vegetal (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Assim, pode-se considerar como 100% a liberação do potássio proveniente dos resíduos culturais, porém, podem ocorrer perdas por lixiviação, especialmente quando se trata de solos arenosos (CALONEGO; FOLONI; ROSOLEM, 2005).

No presente caso, as quantidades de potássio acumuladas na massa seca de parte aérea das coberturas vegetais foram influenciadas, isoladamente, apenas pelo manejo do solo no ano agrícola 2010/11 (Tabela 9). Observa-se efeito similar ao verificado com o acúmulo de nitrogênio, em que o sistema plantio direto favoreceu maior quantidade de potássio acumulada na massa seca de parte aérea das coberturas vegetais, embora tal superioridade não tenha sido estatisticamente superior quando comparada ao manejo do solo com “grade pesada” + “grade leve”. Todavia, a maior quantidade de potássio acumulada nas coberturas vegetais cultivadas no sistema plantio direto e no solo manejado com “grade pesada” + “grade leve”, é atribuída à elevada produção de massa seca das coberturas vegetais nessas condições de cultivo (Tabela 7), haja vista que o manejo de solo não alterou o teor de potássio nos resíduos das coberturas vegetais (Tabela 8) e que a quantidade acumulada foi obtida em função do teor do nutriente e da produção de massa seca.

Um dado a ser ressaltado é que o milheto, embora tenha produzido menor quantidade de massa seca de parte aérea (Tabela 7), acumulou quantidades de potássio semelhantes à crotalária e o consórcio milheto + crotalária em ambos os anos agrícolas. Tais resultados se devem ao maior teor deste nutriente no tecido da poácea (Tabela 8) e dentre outras características, tais como: sistema radicular profundo (MAGALHÃES; DURÃES, 2010) e alta capacidade de extração de potássio (SANTOS et al., 2010a). Observa-se, de modo geral, que as quantidades de potássio acumuladas nas três coberturas vegetais são maiores que as quantidades normalmente aplicadas no sulco de semeadura do milho, mostrando o grande potencial que estas apresentam na reciclagem deste nutriente. Oliveira, Carvalho e Moraes (2002), trabalhando com diversas culturas (milheto, sorgo, milho, mucuna-preta e feijão de porco), relataram o milheto como a cultura de maior acúmulo de macronutrientes a serem fornecidos ao solo para o cultivo seguinte.

4.2.8. Persistência dos resíduos vegetais no sistema plantio direto

O tempo de persistência dos resíduos vegetais na superfície do solo, após o seu manejo, é determinado pela velocidade de sua decomposição. Quanto mais rápida for a decomposição, maior será a velocidade de liberação de nutrientes, porém, menor será a proteção do solo. A velocidade de decomposição está relacionada com o teor de lignina e com a relação C/N dos resíduos. Desse modo, quanto maior o teor de lignina e a relação C/N, mais lenta será a decomposição (HEINRICHS et al., 2001) e conseqüentemente, maior será a proteção do solo.

A persistência dos resíduos vegetais no sistema plantio direto, no ano agrícola 2009/10, não teve alteração significativa em função da cobertura vegetal e da dose de nitrogênio (Tabela 10), em nenhuma das épocas em que esta foi avaliada. Porém, no ano agrícola 2010/11, exceto para a avaliação realizada aos 60 dias após a semeadura do milho, obteve-se diferença na persistência dos resíduos vegetais em razão da cobertura vegetal (Tabela 11), independente da dose de nitrogênio aplicada em cobertura. Na avaliação realizada aos 30 dias após a semeadura do milho, nota-se que o milheto e o consórcio milheto + crotalária proporcionaram maior percentual de persistência dos resíduos vegetais no sistema plantio direto quando comparado com a crotalária, o que está relacionada à maior relação C/N do milheto (SALTON; KICHEL, 1998; ALVA et al., 2006) em relação à fabácea. Silva et al. (2009a) verificaram que a maior relação C/N foi atingida pelo milheto (35/1), comparativamente a *Crotalaria juncea* (18/1), o que era previsto, devido à espécie ser uma poácea e, geralmente, apresentar relação C/N mais alta que as fabáceas.

A persistência dos resíduos vegetais no sistema plantio direto aos 90 e 120 dias após a semeadura do milho apresentou comportamento similar e em ambas as épocas, nota-se maior percentual de persistência dos resíduos quando o milheto foi a cultura antecessora, embora esta superioridade não tenha diferido estatisticamente dos resíduos proporcionados pelo consórcio milheto + crotalária. Dessa maneira, a semelhança na persistência dos resíduos culturais do milheto e milheto + crotalária aos 30, 90 e 120 dias após a semeadura do milho no ano agrícola 2010/11 demonstra o potencial do consórcio em proporcionar massa seca

com relação C/N intermediária àquela da crotalária em cultivo isolado (HEINRICHS et al., 2001), proporcionando portanto, maior proteção do solo e sincronia entre fornecimento e demanda de nitrogênio pela cultura.

Apesar da menor massa seca de parte aérea verificada no milho, em ambos os anos agrícolas (Tabela 7), nota-se tendência, em todas as épocas em que foi mensurada, dos seus resíduos promoverem cobertura mais persistente na superfície do solo quando comparada à crotalária no ano agrícola 2010/11, o que está relacionada à sua maior relação C/N (SALTON; KICHEL, 1998; ALVA et al., 2006). Os resultados mostram-se coerentes às observações feitas por Pelá (2002) e por Bertin, Andrioli e Centurion (2005), em que a maior persistência dos resíduos foi verificada com o milho, comparativamente aos resíduos proporcionados pela *Crotalaria juncea*, feijão de porco e lablabe; os referidos pesquisadores atribuíram tal efeito a maior relação C/N apresentada pelo milho. Nas regiões de Cerrado, especialmente, isto se constitui num importante fator no cultivo em sistema plantio direto, em virtude das altas temperaturas associadas à alta umidade no verão promoverem rápida decomposição dos resíduos de baixa relação C/N (AMABILE; FANCELLI; CARVALHO, 2000; GONÇALVES; CERETTA; BASSO, 2000; GUIMARÃES et al., 2003; LARA CABEZAS et al., 2004), como é o caso das fabáceas. Na mesma linha de raciocínio, fica evidente o inconveniente resultado da rápida decomposição da crotalária, proporcionando baixa persistência dos seus resíduos e proteção do solo, conforme ressaltado por Teixeira et al. (2009).

A rápida diminuição da persistência dos resíduos de crotalária no ano agrícola 2010/11, se deve, supostamente, ao ataque microbiano à fração mais facilmente decomponível do resíduo, composta principalmente de proteínas e de carboidratos simples; a maior persistência dos resíduos do milho é, portanto, consequência do ataque de microorganismos a compostos mais resistentes, como celulose e lignina (BERTOL et al., 1998; HEINRICHS et al., 2001). A manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo em um sistema de rotação de culturas é um importante fator para melhorar a estrutura do solo, refletindo de maneira eficaz no incremento da infiltração de água, na redução da temperatura superficial do solo, no aumento da estabilidade dos agregados e na disponibilidade de nutrientes e água, no estímulo das atividades microbiológicas, com consequente redução nas perdas por erosão do solo e água e um aumento gradativo da produtividade das culturas e a redução dos custos de produção (FLOSS, 2000).

4.3. CULTURA DO MILHO (2009/10 e 2010/11)

O resumo da análise de variância referente às características morfológicas e nutricionais de plantas, características de espiga, componentes de produção e produtividade da cultura, em função de coberturas vegetais, sistemas de manejo do solo e doses de nitrogênio em cobertura, está apresentado na Tabela 12 (população inicial e final de plantas), Tabela 13 (massa seca de parte aérea por planta e total acumulada), Tabela 14 (índice de clorofila foliar nos estádios de desenvolvimento V_5 , V_{10} e florescimento), Tabela 15 (teores de nitrogênio, fósforo e potássio foliar), Tabela 16 (teores de nitrogênio, fósforo e potássio na planta inteira e nitrogênio, fósforo e potássio acumulado na massa seca de parte aérea), Tabela 17 (altura de planta e altura de inserção de espiga), Tabela 18 (diâmetro de colmo e percentual de quebra de planta), Tabela 19 (comprimento de espiga, diâmetro de espiga e número de fileiras de grãos por espiga) e Tabela 20 (massa de mil grãos e produtividade), com os valores de F calculados para os fatores testados e suas respectivas interações e significâncias, bem como as médias obtidas das características mensuradas em ambos os anos agrícolas.

No tocante às variações relativas das características agrônômicas mensuradas na cultura, medidas pelo coeficiente de variação, as médias de população inicial e final de plantas, índice de clorofila foliar nos estádios de desenvolvimento V_5 , V_{10} e florescimento, teor de nitrogênio, fósforo e potássio foliar, altura de planta e de inserção de espiga, diâmetro de colmo, comprimento e diâmetro de espiga, número de fileiras de grãos por espiga, massa de mil grãos e produtividade apresentaram, em ambos os anos agrícolas, coeficientes de variação considerados baixos (<10%), conforme classificação sugerida por Pimentel Gomes (2000), demonstrando haver boa precisão experimental, homogeneidade dos dados e pouca variação dos resultados (CARVALHO et al., 2003). Os baixos valores de coeficientes de variação podem ser explicados pelo fato de que as características mencionadas acima são fortemente relacionadas com as características genéticas. Isso foi descrito por Rosolem (1995), pois à medida que a planta se aproxima do estágio reprodutivo, se o ambiente for propício, a tendência é de todas as plantas se igualarem, pois a conformação final da planta é determinada geneticamente.

As médias de massa seca de parte aérea por planta e total acumulada, em ambos os anos agrícolas, e as médias de teores de fósforo e potássio na planta inteira e de potássio acumulado na massa seca de parte aérea no ano agrícola 2010/11, apresentaram coeficientes de variação classificados como médios (entre 10 e 20%), conforme Pimentel Gomes (2000). Altos coeficientes de variação (entre 20 e 30%) foram verificados com as médias de teor de nitrogênio na planta inteira e de nitrogênio e fósforo acumulado na massa seca de parte aérea no ano agrícola 2010/11.

Apesar de as médias de percentual de quebramento de planta terem apresentado coeficientes de variação muito elevado, 54 e 38% respectivamente para os anos agrícolas 2009/10 e 2010/11, tais resultados serão discutidos, pois de acordo com Marchão et al. (2005), os valores de quebramento normalmente apresentam alto coeficiente de variação. Esse fato é explicado pela forma como esta característica é mensurada, geralmente utilizando-se o percentual de plantas afetadas. Como resultado, pode-se ter uma distribuição heterogênea entre as repetições de um mesmo tratamento, o que resulta em aumento do coeficiente de variação, não por erro na condução dos experimentos, mas devido ao efeito da forma de sua avaliação.

Tabela 12- Resumo da análise de variância e valores médios de população inicial (PIP) e final de plantas (PFP) em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).

Tratamentos	PIP		PFP		
	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	
————— plantas ha ⁻¹ —————					
Cobertura vegetal (C)					
Milheto	53.657	54.768	50.509	54.444	
Crotalária	54.861	54.375	51.944	53.935	
Milheto + crotalária	54.954	54.144	51.805	53.842	
Manejo do solo (M)⁽¹⁾					
E + GL	51.551 c	52.361 b	48.680 c	52.014 b	
GP + GL	53.750 b	54.143 b	50.579 b	53.843 b	
SPD	58.171 a	56.782 a	55.000 a	56.366 a	
DMS (5%)	1.097	2.193	1.176	2.444	
Dose de N (D)					
0 kg ha ⁻¹	—	—	51.173	53.457	
60 kg ha ⁻¹	—	—	52.068	53.889	
90 kg ha ⁻¹	—	—	51.883	54.352	
120 kg ha ⁻¹	—	—	50.555	54.599	
Valor de F ⁽²⁾	C	4,1	0,3	3,2	0,4
	M	118,0 **	19,4 **	143,2 **	15,1 **
	D	—	—	1,3	2,1
	C x M	0,5	0,2	0,7	1,5
	C x D	—	—	0,6	0,8
	M x D	—	—	1,5	0,2
	C x M x D	—	—	1,0	1,5
CV (%)	2	2	7	5	
Média geral	54.490	54.430	51.420	54.074	

⁽¹⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.

⁽²⁾ Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey. CV – coeficiente de variação experimental.

Tabela 13- Resumo da análise de variância e valores médios de massa seca de parte aérea por planta (MS_{planta}) e acumulada ($MS_{\text{acumulada}}$) em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).

Tratamentos	MS_{planta}		$MS_{\text{acumulada}}$		
	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	
	g planta ⁻¹		kg ha ⁻¹		
Cobertura vegetal (C)					
Milheto	97,6	115,7 b	4.933	6.317 b	
Crotalária	103,3	133,9 a	5.362	7.227 a	
Milheto + crotalária	101,4	129,9 a	5.244	6.990 ab	
DMS (5%)	–	11,0	–	685	
Manejo do solo (M)⁽¹⁾					
E + GL	106,9	127,5 b	5.223	6.633 b	
GP + GL	99,2	118,4 c	5.024	6.362 b	
SPD	96,3	133,7 a	5.292	7.540 a	
DMS (5%)	–	5,5	–	554	
Dose de N (D)					
0 kg ha ⁻¹	93,0	119,7	4.763	6.413	
60 kg ha ⁻¹	101,8	125,8	5.303	6.775	
90 kg ha ⁻¹	101,1	127,5	5.235	6.937	
120 kg ha ⁻¹	107,2	133,0	5.418	7.255	
Valor de F ⁽²⁾	C	2,1	14,2 **	4,2	8,9 *
	M	2,8	36,8 **	0,5	23,3 **
	D	7,1 **	5,5 **	4,8 **	8,6 **
	C x M	1,0	1,2	1,2	1,8
	C x D	2,2	0,3	0,7	0,4
	M x D	0,3	0,9	0,4	0,7
	C x M x D	1,5	1,1	1,5	0,5
	CV (%)	10	14	11	15
Média geral	100,8	126,5	5.180	6.845	

⁽¹⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.

⁽²⁾ Teste F: ** e * – significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey. CV – coeficiente de variação experimental.

Tabela 14- Resumo da análise de variância e valores médios de índice de clorofila foliar nos estádios de desenvolvimento V₅, V₁₀ e florescimento em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).

Tratamentos	Índice de clorofila foliar						
	Estádio V ₅		Estádio V ₁₀		Florescimento		
	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	
Cobertura vegetal (C)							
Milheto	36,1 b	39,7	41,6	52,4	59,9	53,0	
Crotalária	39,2 a	40,1	42,8	53,8	64,6	60,2	
Milheto + crotalária	38,4 a	40,7	43,3	52,9	66,4	60,1	
DMS (5%)	1,8	–	–	–	–	–	
Manejo do solo (M)⁽¹⁾							
E + GL	38,0 ab	39,9	42,3	53,9 a	66,6 a	58,0	
GP + GL	36,7 b	39,9	43,1	53,8 a	66,3 a	59,3	
SPD	39,0 a	40,6	42,3	51,3 b	58,0 b	55,9	
DMS (5%)	1,4	–	–	1,9	5,5	–	
Dose de N (D)							
0 kg ha ⁻¹	–	–	40,0	51,3	56,2	51,1	
60 kg ha ⁻¹	–	–	43,2	52,7	65,1	57,5	
90 kg ha ⁻¹	–	–	43,2	53,5	64,9	60,3	
120 kg ha ⁻¹	–	–	44,0	54,6	68,5	62,1	
Valor de F ⁽²⁾	C	14,0 **	0,2	2,5	2,4	18,0 **	13,5 **
	M	12,5 **	0,3	1,2	11,1 **	14,4 **	3,6
	D	–	–	8,4 **	4,7 **	34,5 **	24,4 **
	C x M	1,1	1,6	0,1	0,8	1,1	1,5
	C x D	–	–	1,3	0,3	2,3 *	7,8 **
	M x D	–	–	0,3	1,8	0,7	1,4
	C x M x D	–	–	0,7	1,4	0,8	1,6
	CV (%)	5	7	7	6	9	7
Média geral	37,9	40,1	42,6	53,0	63,7	57,8	

⁽¹⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.

⁽²⁾ Teste F: ** e * – significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey. CV – coeficiente de variação experimental.

Tabela 15- Resumo da análise de variância e valores médios de teores de nitrogênio, fósforo e potássio foliar em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).

Tratamentos	Nitrogênio foliar		Fósforo foliar		Potássio foliar		
	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	
_____ g kg ⁻¹ _____							
Cobertura vegetal (C)							
Milheto	23,9	21,5	3,5 b	3,2 b	20,8	23,3	
Crotalária	26,3	25,3	4,1 a	3,6 a	21,5	24,1	
Milheto + crotalária	26,2	24,9	4,1 a	3,6 a	20,7	23,6	
DMS (5%)	–	–	0,2	0,1	–	–	
Manejo do solo (M)⁽¹⁾							
E + GL	26,4 a	24,1	4,0 a	3,4	20,6	23,4	
GP + GL	26,2 a	24,4	4,0 a	3,5	21,3	23,9	
SPD	23,7 b	23,2	3,7 b	3,5	21,2	23,7	
DMS (5%)	1,6	–	0,1	–	–	–	
Dose de N (D)							
0 kg ha ⁻¹	22,2	20,6	3,5	3,2	20,9	23,3	
60 kg ha ⁻¹	25,9	24,1	3,9	3,5	20,8	23,8	
90 kg ha ⁻¹	26,5	25,2	4,1	3,6	21,2	23,7	
120 kg ha ⁻¹	27,2	25,9	4,2	3,7	21,1	23,9	
Valor de F ⁽²⁾	C	6,3 *	81,3 **	66,7 **	56,5 **	2,1	3,1
	M	17,1 **	8,1 *	31,4 **	2,4	2,5	1,4
	D	67,9 **	61,6 **	90,1 **	38,9 **	0,2	2,6
	C x M	1,6	1,7	0,8	0,6	3,0 *	0,4
	C x D	3,3 **	16,1 **	0,7	1,4	0,7	0,3
	M x D	0,6	4,0 **	2,0	2,2 *	2,0	0,3
	C x M x D	0,4	1,7	1,4	1,0	0,7	0,5
	CV (%)	7	5	5	6	5	5
Média geral	25,4	23,9	3,9	3,5	21,0	23,7	

⁽¹⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.

⁽²⁾ Teste F: ** e * – significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey. CV – coeficiente de variação experimental.

Tabela 16- Resumo da análise de variância e valores médios de teores de nitrogênio (N_{PI}), fósforo (P_{PI}) e potássio na planta inteira (K_{PI}) e nitrogênio (N_A), fósforo (P_A) e potássio acumulado (K_A) na massa seca de parte aérea em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).

Tratamentos	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	
DMS (5%)	–	–	–	13,0	2,5	15,2	
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	
DMS (5%)	–	–	–	9,9	2,6	14,9	
Dose de N (D)							
0 kg ha ⁻¹	10,3	2,2	21,0	66,1	14,3	135,0	
60 kg ha ⁻¹	12,2	2,4	21,6	83,5	16,5	146,1	
90 kg ha ⁻¹	12,6	2,5	22,3	87,4	17,7	154,4	
120 kg ha ⁻¹	13,3	2,6	21,4	97,1	18,7	154,5	
Valor de F ⁽²⁾	C	0,9	1,7	0,7	8,6 *	10,7 **	12,6 **
	M	1,6	0,1	0,1	5,9 *	7,3 *	16,6 **
	D	11,2 **	5,0 **	1,9	18,1 **	8,9 **	21,8 **
	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⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.

⁽²⁾ Teste F: ** e * – significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey. CV – coeficiente de variação experimental.

Tabela 17- Resumo da análise de variância e valores médios de altura de planta e altura de inserção de espiga em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).

Tratamentos	Altura de planta		Altura de inserção de espiga		
	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	
	cm				
Cobertura vegetal (C)					
Milheto	194,3	210,3	95,0	114,6 b	
Crotalária	198,5	219,0	98,0	118,7 ab	
Milheto + crotalária	197,0	221,2	96,8	120,1 a	
DMS (5%)	–	–	–	5,0	
Manejo do solo (M)⁽¹⁾					
E + GL	192,3 b	213,0 b	92,0 b	116,8	
GP + GL	195,5 b	212,4 b	94,8 b	116,6	
SPD	202,0 a	225,0 a	102,9 a	120,0	
DMS (5%)	6,1	4,7	2,9	–	
Dose de N (D)					
0 kg ha ⁻¹	191,6	211,2	94,3	114,3	
60 kg ha ⁻¹	198,1	217,0	97,6	117,3	
90 kg ha ⁻¹	197,4	220,7	96,8	120,0	
120 kg ha ⁻¹	199,3	218,4	97,6	119,6	
Valor de F ⁽²⁾	C	12,4 **	18,8 **	4,6	6,2 *
	M	12,3 **	41,9 **	70,6 **	2,8
	D	13,7 **	25,2 **	7,4 **	7,9 **
	C x M	0,7	1,2	1,0	0,5
	C x D	5,0 **	2,3 *	1,5	0,3
	M x D	1,2	0,6	0,7	1,3
	C x M x D	0,2	0,9	0,4	2,0
	CV (%)	3	3	6	5
Média geral	196,6	216,8	96,6	117,8	

⁽¹⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.

⁽²⁾ Teste F: ** e * – significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey. CV – coeficiente de variação experimental.

Tabela 18- Resumo da análise de variância e valores médios de diâmetro de colmo e percentual de quebramento de planta em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).

Tratamentos	Diâmetro de colmo		Quebramento		
	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	
	mm		%		
Cobertura vegetal (C)					
Milheto	22,4	24,0	5,0	2,1	
Crotalária	23,3	24,3	4,3	1,3	
Milheto + crotalária	23,3	24,4	5,1	1,2	
Manejo do solo (M)⁽¹⁾					
E + GL	23,2 a	24,5	5,3	1,9	
GP + GL	23,4 a	24,2	4,3	1,3	
SPD	22,3 b	24,0	4,6	1,4	
DMS (5%)	0,3	–	–	–	
Dose de N (D)					
0 kg ha ⁻¹	21,5	22,8	5,5	2,3	
60 kg ha ⁻¹	23,4	24,1	4,5	1,1	
90 kg ha ⁻¹	23,3	25,3	4,4	1,2	
120 kg ha ⁻¹	23,8	24,7	4,6	1,5	
Valor de F ⁽²⁾	C	4,8	0,2	2,7	2,5
	M	74,6 **	1,3	0,9	1,2
	D	30,3 **	33,8 **	1,5	2,1
	C x M	0,2	0,1	0,3	0,9
	C x D	2,0	0,6	1,2	0,3
	M x D	0,9	0,4	1,3	1,2
	C x M x D	0,6	0,6	1,8	0,6
CV (%)	5	6	54	38	
Média geral	23,0	24,2	4,8	1,5	

⁽¹⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.

⁽²⁾ Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey. CV – coeficiente de variação experimental.

Tabela 19- Resumo da análise de variância e valores médios de comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE) e número de fileiras de grãos por espiga (FGE) em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).

Tratamentos	CE		DE		FGE		
	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	
	mm				n°		
Cobertura vegetal (C)							
Milheto	152,8 b	160,1	45,6	47,7	14,9	14,8	
Crotalária	159,2a	164,0	45,8	48,0	14,8	15,0	
Milheto + crotalária	156,4ab	164,0	46,1	48,3	15,0	14,9	
DMS (5%)	4,9	–	–	–	–	–	
Manejo do solo (M)⁽¹⁾							
E + GL	160,1a	162,8	45,9	48,0	14,9	15,0	
GP + GL	157,7a	161,7	46,0	47,9	14,9	14,9	
SPD	150,7 b	163,5	45,5	48,1	14,9	14,9	
DMS (5%)	3,9	–	–	–	–	–	
Dose de N (D)							
0 kg ha ⁻¹	148,3	156,0	45,3	47,2	14,9	14,8	
60 kg ha ⁻¹	155,7	163,5	45,9	48,2	14,9	14,9	
90 kg ha ⁻¹	159,4	164,6	46,1	48,2	15,0	14,9	
120 kg ha ⁻¹	161,2	166,7	45,9	48,4	14,8	15,0	
Valor de F ⁽²⁾	C	7,9 *	9,4 *	2,9	4,2	2,9	2,6
	M	28,9 **	0,8	3,0	2,0	0,2	1,5
	D	41,9 **	18,9 **	17,8 **	6,1 **	0,4	1,1
	C x M	0,9	1,3	0,5	0,5	0,7	0,5
	C x D	1,9	3,1 **	0,6	1,3	1,2	0,9
	M x D	0,8	3,8 **	1,3	0,7	0,3	2,2
	C x M x D	0,9	1,1	0,8	0,9	0,6	1,7
	CV (%)	4	3	2	2	4	3
Média geral	156,2	162,7	45,8	48,0	14,9	14,9	

⁽¹⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.

⁽²⁾ Teste F: ** e * – significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa pelo teste de Tukey. CV – coeficiente de variação experimental.

Tabela 20- Resumo da análise de variância e valores médios de massa de mil grãos (MMG) e produtividade em função de cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).

Tratamentos	MMG ⁽³⁾		Produtividade ⁽³⁾		
	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	
	g		kg ha ⁻¹		
Cobertura vegetal (C)					
Milheto	279,1	281,2	5.534	6.847	
Crotalária	294,5	295,1	6.434	7.968	
Milheto + crotalária	294,6	297,7	6.308	7.807	
Manejo do solo (M)⁽¹⁾					
E + GL	291,4	289,2	6.087	7.326	
GP + GL	289,9	286,3	6.002	7.538	
SPD	286,8	298,5	6.187	7.758	
Dose de N (D)					
0 kg ha ⁻¹	281,6	285,8	5.359	6.492	
60 kg ha ⁻¹	288,4	291,1	6.156	7.506	
90 kg ha ⁻¹	292,7	293,8	6.299	7.889	
120 kg ha ⁻¹	294,8	294,7	6.554	8.275	
Valor de F ⁽²⁾	C	26,0 **	21,3 **	24,2 **	12,4 **
	M	0,8	37,9 **	0,4	2,0
	D	14,8 **	6,2 **	24,8 **	30,1 **
	C x M	0,3	3,8 **	1,8	4,2 **
	C x D	4,2 **	5,1 **	4,5 **	5,4 **
	M x D	0,4	2,0	1,3	2,2
	C x M x D	0,7	0,6	1,3	0,9
CV (%)	3	3	8	7	
Média geral	289,4	291,3	6.092	7.541	

⁽¹⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.

⁽²⁾ Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade. CV – coeficiente de variação experimental.

⁽³⁾ Com base em 13% de umidade nos grãos (b.u.).

4.3.1. População inicial e final de plantas

As populações inicial e final de plantas apresentaram comportamento similar nos anos agrícolas 2009/10 e 2010/11 e ambas foram influenciadas pelo manejo do solo, independente de cobertura vegetal e dose de nitrogênio (Tabela 12). As populações inicial e final de plantas foram maiores no sistema plantio direto comparativamente aos sistemas de revolvimento do solo em ambos os anos agrícolas. Nas mesmas condições edafoclimáticas do presente estudo, Arf et al. (2007) avaliaram, em dois anos agrícolas, o efeito de sistemas de manejo do solo (arado de aiveca, “grade pesada” e duas gradagens e sistema plantio direto) e de épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho e também constataram menores populações inicial e final de plantas nos sistemas com revolvimento do solo comparativamente ao sistema plantio direto. Na mesma área experimental, Kaneko et al. (2010) também verificaram que o milho, no espaçamento de 0,9 m entre as linhas, teve maior população final de plantas quando cultivado no sistema plantio direto, comparativamente aos manejos do solo com escarificador + “grade leve” e com “grade pesada” + “grade leve”. Todavia, Carvalho et al. (2004) evidenciaram maior população final de plantas quando o milho foi cultivado em solo manejado com “grade pesada” comparativamente ao sistema plantio direto. Os referidos pesquisadores atribuíram este resultado à menor profundidade de semeadura no sistema plantio direto, o que pode ter prejudicado a germinação e provocado morte de plantas durante o ciclo da cultura, pois foi utilizada a mesma regulagem da semeadora nos dois sistemas de manejo do solo.

Neste estudo, é provável que as maiores populações de plantas, obtidas no sistema plantio direto, 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. No manejo do solo com escarificador + “grade leve” e com “grade pesada” + “grade leve”, o solo mais solto pode ter dificultado a movimentação de tal mecanismo, devido ao menor atrito entre a roda motriz e o solo, distribuindo menos sementes no sulco de semeadura.

Tormena et al. (2002) observaram que o sistema plantio direto apresentou maiores valores para densidade do solo e resistência à penetração em relação ao manejo com arado de aiveca, resultados que podem fundamentar as evidências levantadas neste estudo.

Outra hipótese relacionada à maior população inicial e final de plantas no sistema plantio direto pode estar relacionada às melhores condições de germinação e emergência proporcionada pelo sistema. No sistema plantio direto, os resíduos culturais sobre a área 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, haja vista que nos dois anos agrícolas houve precipitações pluviométricas logo após a semeadura. Além disso, a cobertura vegetal pode ter promovido menor perda de água e menores variações de temperatura do solo, favorecendo o estabelecimento da cultura (BORTOLUZZI; ELTZ, 2000).

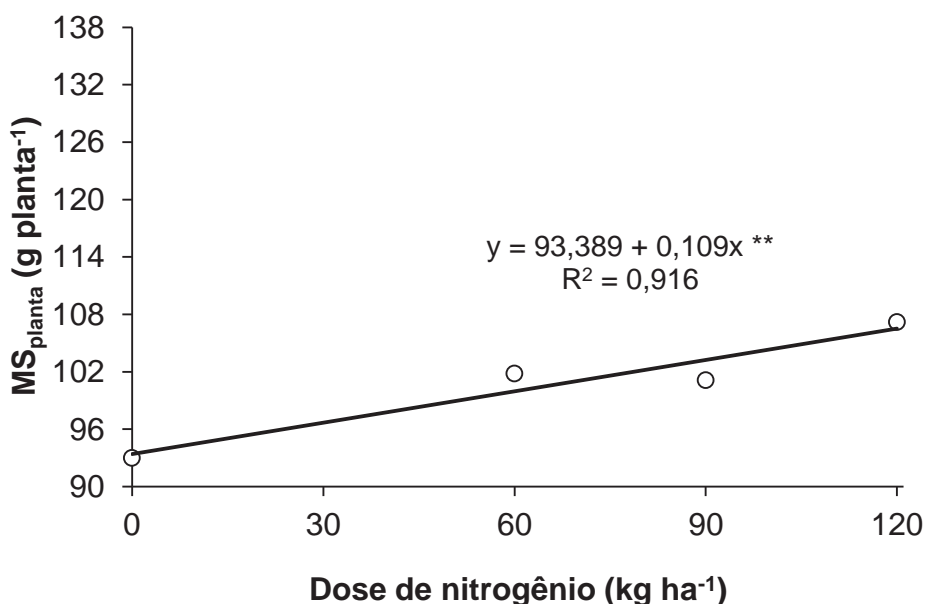
4.3.2. Produção de massa seca de parte aérea por planta

Segundo Fancelli e Dourado Neto (2004), a produção de massa seca do milho é influenciada pelo genótipo e pelas condições edafoclimáticas, sendo importante principalmente porque os fotoassimilados armazenados no colmo da planta poderão ser translocados para os grãos durante a fase de enchimento deles.

A produção de massa seca de parte aérea por planta, no ano agrícola 2009/10, foi influenciada apenas pela dose de nitrogênio (Tabela 13). Observa-se que o incremento na dose de nitrogênio proporcionou aumento linear da massa seca de parte aérea por planta (Figura 4), demonstrando a eficiência do genótipo utilizado em assimilar o nutriente absorvido e a formação de biomassa. O maior valor de massa seca de parte aérea, obtido com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de nitrogênio, representou em relação à ausência da aplicação do nutriente em cobertura, incremento de 15% na biomassa. De maneira coerente, Ohland et al. (2005) verificaram incremento de 16% na massa seca por planta de milho com a aplicação de 100 kg ha^{-1} de nitrogênio em relação ao tratamento que não recebeu o nutriente.

É provável que o incremento da produção de massa seca, no presente estudo, esteja atribuído, também, ao efeito indireto do nitrogênio, ou seja, no favorecimento do desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Conforme Fancelli e Dourado Neto (1996), a adição de nitrogênio em plantas de milho estimula a proliferação do sistema radicular, com conseqüente desenvolvimento da parte aérea. O incremento da produção de massa seca pode, portanto, ter ocorrido em decorrência do aumento na taxa de alongamento foliar, que por sua vez, está em função do aumento da área foliar, embora esta característica não tenha sido mensurada. Com certa semelhança, Deuner et al. (2008), ao avaliarem o efeito da aplicação foliar de nitrogênio no acúmulo de proteínas e parâmetros de desenvolvimento de plantas jovens de milho em comparação com a aplicação de ureia via solo, atribuíram o incremento da produção de massa seca ao aumento na taxa de alongamento foliar da cultura.

Figura 4- Massa seca de parte aérea por planta (MS_{planta}) em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



No ano agrícola 2010/11, a produção de massa seca de parte aérea por planta foi influenciada, isoladamente, por todos os fatores considerados (Tabela 13). O cultivo de crotalária e de milheto + crotalária antecedendo o milho resultou em maior produção de massa seca de parte aérea por planta comparativamente ao

milheto, o que pode estar relacionado, possivelmente, à maior produção de massa seca (Tabela 7) e à maior quantidade de nitrogênio e fósforo acumulada nestas culturas (Tabela 9). Além disso, a maioria dos trabalhos revela que, o aproveitamento do nitrogênio proveniente da decomposição dos resíduos de crotalária é maior que o fornecido pelo milheto (SILVA et al., 2006b; SILVA et al., 2009a). Sugere-se, portanto, que o milho semeado sobre os resíduos de crotalária e de milheto + crotalária, tenha acumulado maior quantidade de massa seca em razão dos benefícios propiciados pela maior quantidade de biomassa e disponibilidade de nitrogênio e fósforo ao solo. Resultados similares foram obtidos por Silva et al. (2009a), os quais verificaram que os maiores valores de massa seca por planta foram observados no milho cultivado na presença de resíduos de *Crotalaria juncea*, independentemente da dose de nitrogênio em cobertura.

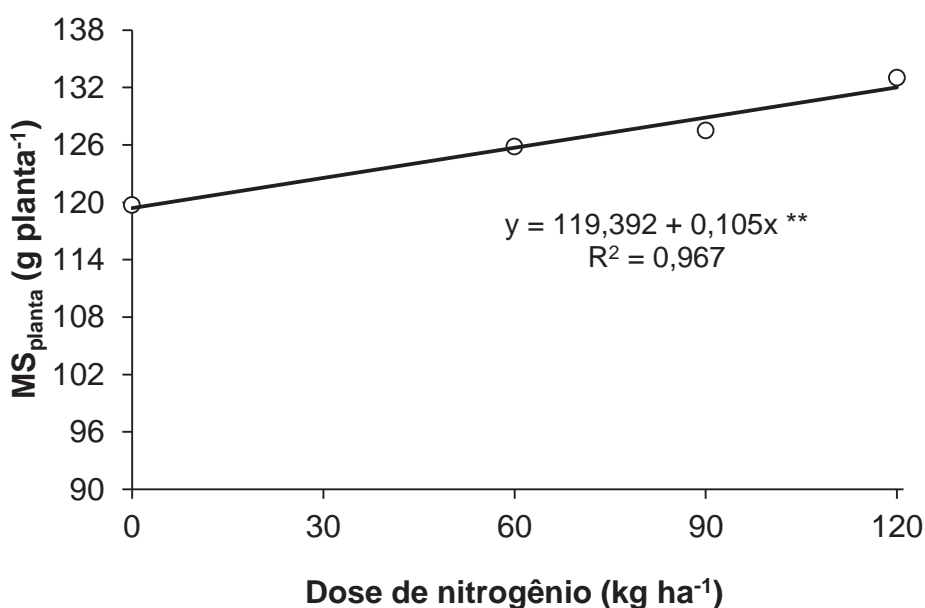
O sistema plantio direto propiciou maior massa seca de parte aérea por planta em relação ao manejo do solo com escarificador + “grade leve”, que por sua vez, foi superior ao manejo com “grade pesada” + “grade leve”, ratificando os resultados obtidos por Kaneko et al. (2010) e confirmando os relatos de Alvarenga et al. (2001), em que o sistema plantio direto propicia ambiente favorável ao desenvolvimento das culturas. Por outro lado, é possível que o revolvimento do solo, em virtude da incorporação e decomposição mais rápida dos resíduos culturais, tenha proporcionado maior evaporação da água retida no solo, em razão da elevação da temperatura, o que pode ter prejudicado o desenvolvimento das plantas. Portanto, admite-se que no sistema plantio direto, em que a produção de massa seca das coberturas vegetais ficou sobre a superfície por maior período de tempo, tenha ocorrido maior proteção do solo, menor evaporação e, conseqüentemente, 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 sistema plantio direto e manejo do solo com “grade pesada” + “grade leve” para a massa seca de parte aérea de plantas de milho, cultivado no verão sob espaçamento de 0,9 m entre as linhas, em Latossolo Vermelho argiloso em baixa altitude, diferindo assim, dos resultados deste trabalho.

Outra hipótese pode estar relacionada à dinâmica do nitrogênio no sistema plantio direto, haja vista que a sua dinâmica no sistema solo-planta pode ser influenciada principalmente pelo manejo do solo (FIGUEIREDO et al., 2005; SANTOS et al., 2010b). Figueiredo et al. (2005), em Latossolo Vermelho no Cerrado,

verificaram alterações na dinâmica de absorção de nitrogênio pelo milho, sendo que sob sistema plantio direto e cultivo mínimo com escarificador, houve maior eficiência de recuperação no nitrogênio oriundo do fertilizante quando comparado aos manejos com arado de disco e aiveca.

Condizente com o primeiro ano agrícola, o aumento na dose de nitrogênio proporcionou incremento linear da massa seca de parte aérea por planta (Figura 5), em que o maior valor, evidenciado com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, representou incremento de 11% na biomassa em relação à ausência da aplicação do nutriente em cobertura, corroborando novamente, com o percentual obtido por Ohland et al. (2005). Novamente, é provável que tal resultado esteja relacionado ao favorecimento do nitrogênio sobre o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (FANCELLI; DOURADO NETO, 1996) e ao aumento na taxa de alongamento foliar. Porém, os resultados foram incoerentes aos observados por Heinrichs et al. (2003) em Garça – SP. Os referidos pesquisadores avaliaram o efeito de dose de nitrogênio (0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 kg ha⁻¹), tendo como fonte a ureia, quando o milho encontrava-se no estágio de desenvolvimento V₆, e ao término do estudo, não constataram modificações significativas na massa seca de parte aérea por planta em virtude da alteração das respectivas doses.

Figura 5- Massa seca de parte aérea por planta (MS_{planta}) em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

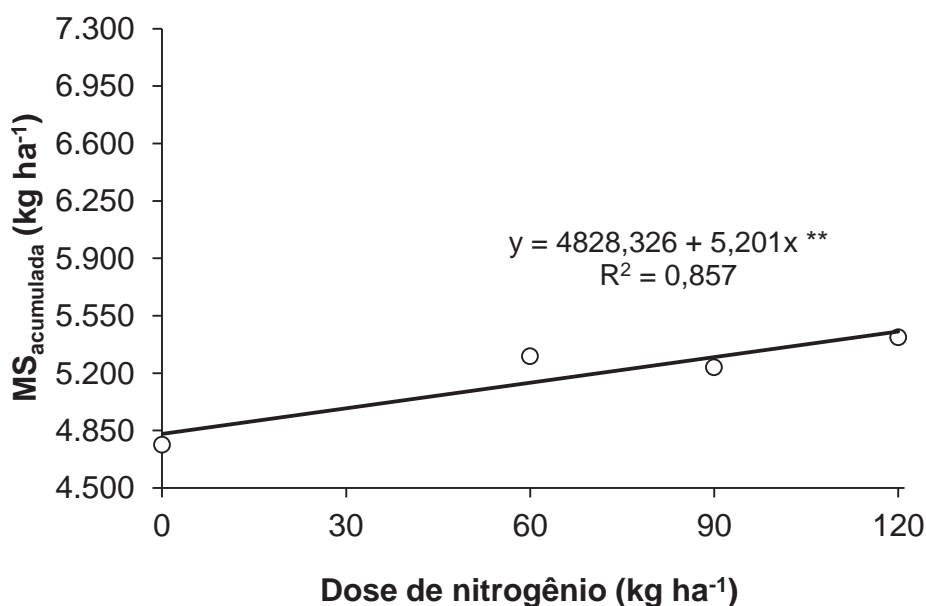


O acréscimo linear da massa seca de parte aérea em resposta à aplicação de nitrogênio, evidenciado em ambos os anos agrícolas, ratifica a afirmação de Büll (1993). O pesquisador, ao estudar a nutrição mineral do milho, menciona a influência da adubação nitrogenada no incremento linear da massa seca de parte aérea da cultura. Ademais, Arf et al. (2007) e Kaneko et al. (2010), em condições edafoclimáticas semelhantes a deste trabalho, verificaram de modo geral que, os tratamentos que receberam adubações nitrogenadas precocemente, proporcionaram maior massa seca de plantas de milho.

4.3.3. Produção de massa seca de parte aérea acumulada

A produção de massa seca de parte aérea acumulada pelo milho, no ano agrícola 2009/10, foi influenciada pela dose de nitrogênio, independente de cobertura vegetal e manejo do solo (Tabela 13). O aumento na dose de nitrogênio resultou em incremento linear da produção de massa seca acumulada (Figura 6), em que o maior valor, evidenciado com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, representou acréscimo de 14% na biomassa em relação à ausência da aplicação do nutriente em cobertura. Constatou-se, perante equação de regressão, que para cada kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicado em cobertura, houve acréscimo de 5,2 kg ha⁻¹ na produção de massa seca, resposta que demonstra a importância do nitrogênio para o milho. Carvalho, Von Pinho e Davide (2011), avaliando desempenho de genótipos de milho quanto à eficiência da adubação nitrogenada, verificaram que a maioria deles, apresentou incremento na massa seca acumulada quando se alterou a dose de 40 para 160 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura, ratificando desse modo, os resultados deste estudo. Por outro lado, Bertin, Andrioli e Centurion (2005) não observaram incremento na massa seca do milho cultivado em sistema plantio direto em função da ausência de nitrogênio em cobertura e a aplicação de 120 kg ha⁻¹ do nutriente.

Figura 6- Massa seca de parte aérea acumulada ($MS_{\text{acumulada}}$) em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

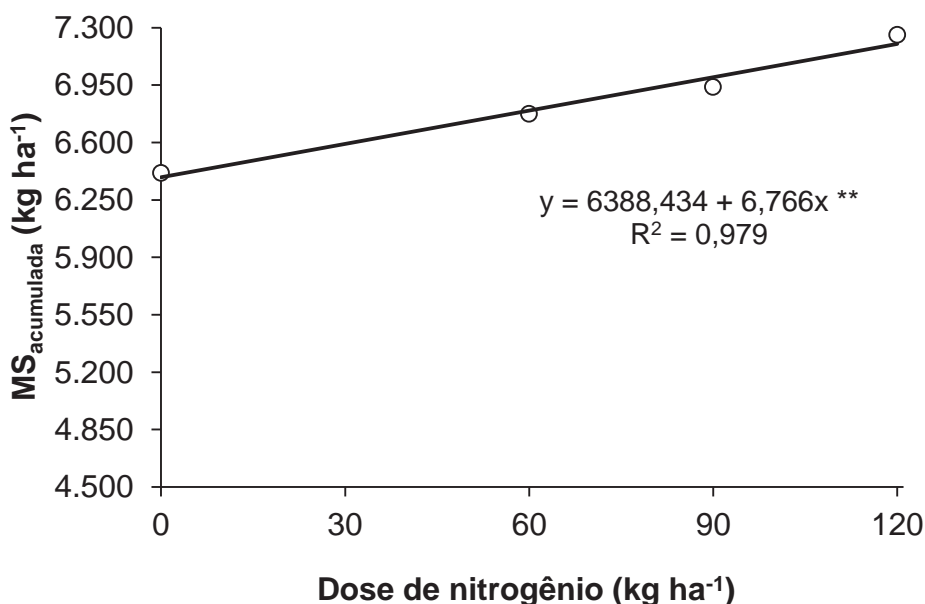


No ano agrícola 2010/11, a produção de massa seca de parte aérea acumulada pelo milho foi influenciada, isoladamente, pela cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio (Tabela 13). O milho cultivado após a crotalária apresentou maior massa seca, apesar de que tal supremacia, não tenha sido estatisticamente diferente da sucessão ao milheto + crotalária. É possível que este resultado esteja atrelado à menor quantidade de nitrogênio acumulada na massa seca do milheto (Tabela 9) e à sua maior relação C/N. De certo modo, resultados semelhantes em relação ao milheto foram relatados por Amado, Mielniczuk e Fernandes (2001), os quais relataram que a produção de massa seca de parte aérea do milho foi menor em sucessão à aveia preta comparada à ervilhaca e à ervilhaca + aveia. Pesquisas demonstram que resíduos vegetais com relação C/N acima de 25/1 favorecem o processo de imobilização temporária do nitrogênio mineral da solução do solo pelos microrganismos. Já resíduos com relação C/N inferior a 25/1 favorecem a mineralização e a rápida liberação do nitrogênio e demais nutrientes presentes em sua biomassa (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002; SILVA et al., 2008). Entretanto, esse processo está também relacionado às condições edafoclimáticas, sobretudo temperatura, umidade e textura do solo (LARA CABEZAS et al., 2004; SOUSA; LOBATO, 2004).

No que diz respeito ao efeito de manejo do solo, observa-se que o sistema plantio direto favoreceu o acúmulo de massa seca. Apesar de que o sistema plantio direto propicie ambiente favorável ao desenvolvimento das culturas (ALVARENGA et al., 2001), a maior produção de massa seca verificada nesse sistema pode estar relacionada à população final de plantas, uma vez que esta foi maior nesse sistema comparativamente aos manejos com revolvimento do solo (Tabela 12).

O incremento na dose de nitrogênio propiciou aumento linear da produção de massa seca acumulada (Figura 7), discordando, novamente, dos resultados constatados por Bertin, Andrioli e Centurion (2005). O maior valor de massa seca acumulada, obtido com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de nitrogênio, 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. Perante equação de regressão, nota-se que, para cada kg ha^{-1} de nitrogênio aplicado em cobertura, houve incremento de $6,7 \text{ kg ha}^{-1}$ na produção de massa seca do milho.

Figura 7- Massa seca de parte aérea acumulada ($MS_{\text{acumulada}}$) em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



As produções médias, variando de 5.180 a 6.845 kg ha^{-1} , demonstram que, o milho, além do seu potencial para produção de grãos, pode contribuir

consideravelmente para o incremento de massa seca no sistema agrícola, sendo desse modo, importante cultura em sistemas de rotação de culturas e plantio direto. Cruz et al. (2008a) recomendam, com segurança, a adoção de sistemas de rotação que produzam, em média, 6.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ ou mais de massa seca, que, uma vez bem manejada, pode contribuir para a redução da erosão e melhorar o solo.

Ademais, assim como o milheto, o milho recicla quantidades satisfatórias de potássio, devido ao seu sistema radicular profundo (LANDAU; SANS; SANTANA, 2010) e exigência nutricional. Embora a exportação de potássio seja relativamente baixa, de 20 a 30% (COELHO; FRANÇA, 1995), a cultura absorve grandes quantidades do nutriente (Tabela 16). Por não fazer parte de nenhum composto celular no vegetal (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), o potássio contido em seus resíduos pode ser rapidamente liberado ao solo, beneficiando culturas subsequentes, especialmente as que apresentam elevada exigência em potássio. Após 13 anos cultivando diferentes coberturas vegetais de inverno e milho no verão, Lovato et al. (2004) verificaram que o milho foi o grande responsável pela adição de carbono ao solo. Além disso, Coelho e França (1995) comentaram que o retorno dos resíduos culturais do milho incorporou ao solo grande parte dos nutrientes, principalmente de potássio e cálcio contidos em seus resíduos.

4.3.4. Índice de clorofila foliar

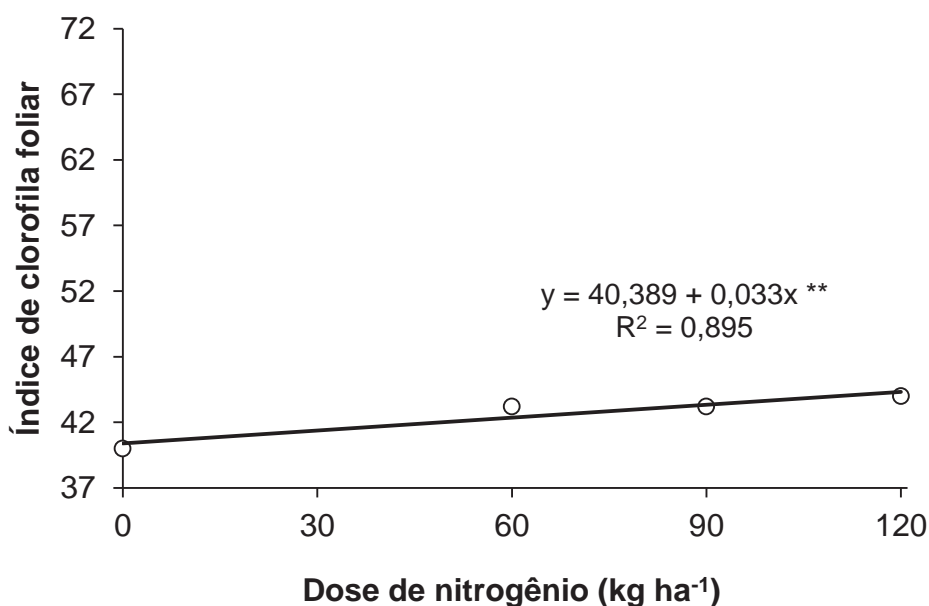
Segundo Piekielek et al. (1995), o índice de clorofila na folha é utilizado para prever o nível nutricional de nitrogênio nas plantas, pelo fato de a quantidade desse pigmento correlacionar-se positivamente com o teor de nitrogênio na planta. Argenta et al. (2000) afirmaram que a leitura realizada com clorofilômetro estima com boa precisão o teor de clorofila nas folhas de milho, sendo o monitoramento do nível de nitrogênio nas plantas eficiente parâmetro para separar plantas com deficiência e com nível adequado desse nutriente.

No ano agrícola 2009/10, o índice de clorofila foliar de plantas de milho no estágio de desenvolvimento V₅ foi influenciado, isoladamente, pela cobertura vegetal e manejo do solo, ao passo que no ano agrícola 2010/11 não se verificou efeito dos

fatores sobre essa característica (Tabela 14). O cultivo de crotalária e de milho + crotalária antecedendo o milho resultou em maior índice de clorofila foliar em plantas no estágio V₅, confirmando os principais benefícios da crotalária para a agricultura: a fixação biológica do nitrogênio atmosférico, o aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo e da sua absorção pela planta (OHLAND et al., 2005; KAPPES, 2011), além da menor imobilização do nitrogênio do fertilizante e do solo. Apesar de que alguns estudos indicam que a maior proporção do nitrogênio contido na biomassa das coberturas vegetais tem como destino o solo, a maioria dos trabalhos revela que, o aproveitamento do nitrogênio proveniente da decomposição dos resíduos de crotalária é maior que o fornecido pelo milho (SILVA et al., 2006b; SILVA et al., 2009a), o que possivelmente, dever ter acontecido neste estudo. No referido estágio de desenvolvimento, o sistema plantio direto promoveu maior índice de clorofila foliar, embora tal superioridade não tenha diferenciada do manejo do solo com escarificador + “grade leve”.

O índice de clorofila foliar de plantas de milho no estágio de desenvolvimento V₁₀, no ano agrícola 2009/10, foi influenciado pela dose de nitrogênio, independente de cobertura vegetal e manejo do solo (Tabela 14). No referido estágio, o incremento na dose de nitrogênio propiciou aumento linear do índice de clorofila foliar (Figura 8), resposta que pode ser atribuída à própria função do nutriente no vegetal, como participação direta na biossíntese de proteínas (ANDRADE et al., 2003) e na composição estrutural da molécula de clorofila (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2009). O maior valor de índice de clorofila foliar evidenciado na dose de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio representou, em relação à ausência da aplicação do nutriente em cobertura, incremento de 10%. Aumento do índice de clorofila foliar em função de dose de nitrogênio em cobertura no milho também foi observado por outros pesquisadores, dentre eles Argenta et al. (2003b) e Amaral Filho et al. (2005).

Figura 8- Índice de clorofila foliar de plantas no estágio V_{10} em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

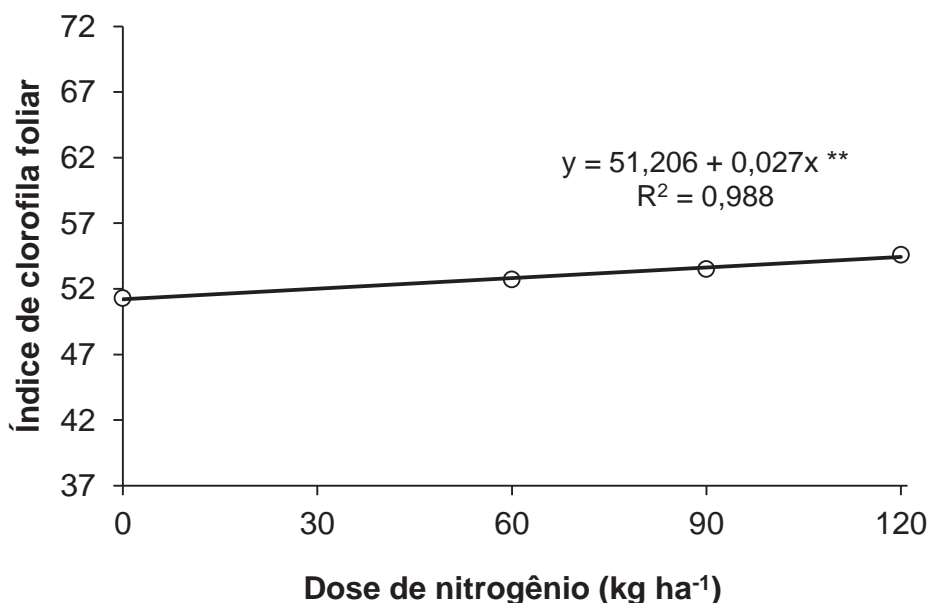


No ano agrícola 2010/11, o índice de clorofila foliar no estágio de desenvolvimento V_{10} foi influenciado pelo manejo do solo e pela dose de nitrogênio, independente de cobertura vegetal (Tabela 14). Quando o solo foi manejado com escarificador + “grade leve” e com “grade pesada” + “grade leve”, obteve-se maior índice de clorofila foliar comparativamente ao sistema plantio direto. Perante o fato de a clorofila correlacionar-se positivamente com o nitrogênio (PIEKIELEK et al., 1995), pode-se deduzir que, a incorporação dos resíduos culturais ao solo pode, além de ter favorecido maior exploração de volume do solo pelo sistema radicular, ter proporcionado a sua rápida decomposição, disponibilizado rapidamente e em maior quantidade o nutriente ao solo comparativamente ao sistema plantio direto (efeito imediato), ratificando dessa maneira, a constatação de Lara Cabezas et al. (2004) e, conseqüentemente, aumentando a absorção de nitrogênio pela planta.

Similar à resposta obtida no primeiro ano de cultivo, o incremento na dose de nitrogênio no ano agrícola 2010/11 resultou em aumento linear do índice de clorofila foliar de plantas de milho no estágio de desenvolvimento V_{10} (Figura 9), resposta que pode ser atribuída novamente à própria função do nutriente no vegetal, como participação direta na biossíntese de proteínas (ANDRADE et al., 2003) e na composição estrutural da molécula de clorofila (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER,

2009). O maior valor de índice de clorofila foliar, obtido com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio representou, em relação à ausência da aplicação do nutriente em cobertura, incremento de 6%.

Figura 9- Índice de clorofila foliar de plantas no estágio V₁₀ em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



O índice de clorofila foliar de plantas de milho no florescimento, no ano agrícola 2009/10, foi influenciado, isoladamente, por todos os fatores considerados, ocorrendo interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio (Tabela 14). O manejo do solo com escarificador + “grade leve” e com “grade pesada” + “grade leve” resultou em maior índice de clorofila foliar no florescimento comparativamente ao sistema plantio direto, demonstrando novamente que a incorporação dos resíduos culturais ao solo favorece a sua rápida decomposição, com conseqüente disponibilização do nitrogênio e absorção pela planta (efeito imediato).

O desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio para o índice de clorofila foliar no florescimento, no ano agrícola 2009/10, está apresentado na Tabela 21. Observa-se diferença entre cobertura vegetal somente quando não se aplicou nitrogênio em cobertura, em que a crotalária e o milheto + crotalária resultaram em maior índice de clorofila foliar no florescimento, confirmando novamente, os efeitos benéficos da fabácea (OHLAND et al., 2005; KAPPES, 2011).

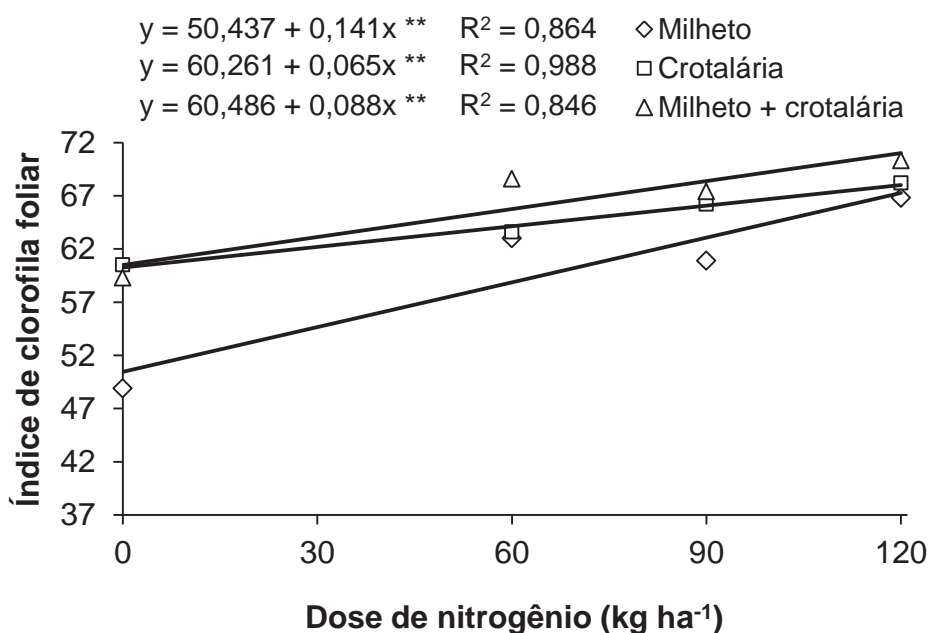
Tabela 21- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para índice de clorofila foliar de plantas de milho no florescimento. Selvíria – MS, Brasil (2009/10).

Cobertura vegetal	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)			
	0	60	90	120
	————— Índice de clorofila foliar (florescimento) —————			
Milheto	48,9 b	63,0 a	60,9 a	66,8 a
Crotalária	60,5 a	63,6 a	66,2 a	68,2 a
Milheto + crotalária	59,3 a	68,6 a	67,4 a	70,3 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O índice de clorofila foliar de plantas no florescimento aumentou linearmente com a elevação na dose de nitrogênio após as coberturas vegetais no ano agrícola 2009/10 (Figura 10), resposta atribuída à participação direta do nitrogênio na biossíntese de proteínas (ANDRADE et al., 2003) e na composição estrutural da molécula de clorofila (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2009). Estimou-se, neste estudo, perante equação de regressão, que quando a cultura antecessora foi o milho, a aplicação de 71,4 kg ha⁻¹ de nitrogênio para resultar no mesmo índice de clorofila foliar do que quando a cultura antecessora foi a crotalária na ausência do nutriente em cobertura, devido, possivelmente, à imobilização do nitrogênio aplicado, pela microbiota do solo, para a decomposição dos resíduos (SALTON; KICHEL, 1998; ALVA et al., 2006) e também, pela maior imobilização do nitrogênio do solo, que geralmente, se constitui na principal fonte de nutriente para as culturas (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002). Da mesma forma, pode ter ocorrido reimplantação do próprio nitrogênio mineralizado do milho. Portanto, há novamente a confirmação agrônômica dos principais benefícios da crotalária para a agricultura: a fixação biológica do nitrogênio atmosférico, o aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo e da sua absorção pela planta (OHLAND et al., 2005; KAPPES, 2011) e menor imobilização do nitrogênio do fertilizante.

Figura 10- Índice de clorofila foliar de plantas no florescimento em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



No ano agrícola 2010/11, o índice de clorofila foliar de plantas de milho no florescimento foi influenciado, isoladamente, pela cobertura vegetal e dose de nitrogênio, constatando-se interação entre os referidos fatores (Tabela 14), sendo o desdobramento dessa interação, apresentado na Tabela 22. Novamente, nota-se diferença entre as coberturas vegetais quando não se aplicou nitrogênio em cobertura, em que o cultivo de crotalária e de milho + crotalária resultou em maior índice de clorofila foliar no florescimento do milho, demonstrando os efeitos benéficos da crotalária (OHLAND et al., 2005; KAPPES, 2011). Na aplicação de 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio obteve-se maior índice de clorofila foliar no florescimento quando o milho + crotalária antecederam o milho, apesar de que não se verificou diferença em relação ao cultivo da crotalária, demonstrando novamente, o efeito positivo da crotalária em relação ao milho. Entretanto, quando aplicado 60 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, o efeito positivo da crotalária não foi evidente em comparação ao milho, apesar da alta relação C/N do milho (SALTON; KICHEL, 1998; ALVA et al., 2006).

Tabela 22- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para índice de clorofila foliar de plantas de milho no florescimento. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).

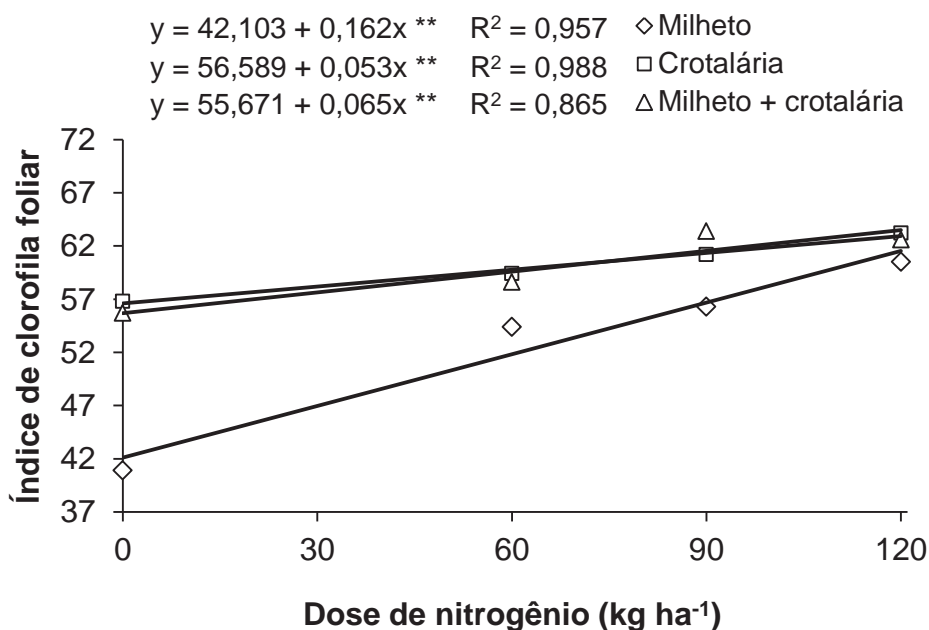
Cobertura vegetal	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)			
	0	60	90	120
	————— Índice de clorofila foliar (florescimento) —————			
Milheto	40,9 b	54,4 a	56,3 b	60,5 a
Crotalária	56,8 a	59,4 a	61,2 ab	63,2 a
Milheto + crotalária	55,7 a	58,6 a	63,4 a	62,6 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Perante análise de regressão, observa-se o mesmo efeito de dose de nitrogênio constatado no primeiro ano agrícola. O índice de clorofila foliar de plantas no florescimento aumentou linearmente com a elevação na dose de nitrogênio após as coberturas vegetais (Figura 11), portanto, resposta atribuída à participação direta do nitrogênio na biossíntese de proteínas (ANDRADE et al., 2003) e na composição estrutural da molécula de clorofila (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2009). Perante equação de regressão, estimou-se, quando o milho antecedeu o milho, a aplicação de 90,7 kg ha⁻¹ de nitrogênio para resultar no mesmo índice de clorofila foliar do que quando a crotalária foi a cultura antecessora, na ausência do nutriente em cobertura.

Os menores índices de clorofila foliar de plantas de milho no sistema plantio direto durante os estádios de desenvolvimento V₁₀ e no florescimento nos anos agrícolas 2010/11 e 2009/10, respectivamente, quando comparados ao manejo com revolvimento do solo, podem estar relacionados à uma menor eficiência da ureia, ou seja, menor aproveitamento do nitrogênio mineral pela cultura, uma vez que a aplicação do fertilizante nitrogenado foi realizada em superfície e sobre os resíduos das coberturas vegetais. A referida hipótese pode ser fundamentada nos estudos desenvolvidos por Lara Cabezas e Yamada (1999), os quais registraram perdas de nitrogênio por volatilização da ureia acima de 30% em sistema convencional de manejo do solo (aplicação superficial) e acima de 70% em sistema plantio direto (aplicação superficial e sobre resíduos culturais), em Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho Escuro.

Figura 11- Índice de clorofila foliar de plantas no florescimento em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



4.3.5. Teor de nitrogênio foliar

O nitrogênio absorvido nos estádios iniciais de desenvolvimento apresenta principalmente função no sistema estrutural na planta, sendo, portanto, pouco armazenado e translocado. O monitoramento do nível adequado de nitrogênio na planta surgiu com o objetivo de diagnosticar a necessidade ou não de sua aplicação, visto que a aplicação de altas doses pode ocasionar altas produtividades; no entanto, pode não ser economicamente viável (AMARAL FILHO et al., 2005).

No presente estudo, o teor de nitrogênio foliar no florescimento do milho, no ano agrícola 2009/10, apresentou comportamento similar ao índice de clorofila foliar de plantas no florescimento no referido ano agrícola, sendo, portanto, influenciado, isoladamente, por todos os fatores considerados, ocorrendo interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio (Tabela 15). Comparativamente ao sistema plantio direto, o manejo do solo com escarificador + “grade leve” e com “grade pesada” + “grade leve” favoreceu maior teor de nitrogênio foliar, corroborando com os resultados observados por Kaneko et al. (2010). O presente resultado permite

afirmar novamente que, nas condições edafoclimáticas do Cerrado, a incorporação dos resíduos culturais ao solo favoreceu maior exploração de volume do solo pelo sistema radicular do milho, proporcionado a sua rápida decomposição, disponibilizando rapidamente e em maior quantidade o nutriente ao solo comparativamente ao sistema plantio direto (efeito imediato), ratificando a constatação feita por Lara Cabezas et al. (2004), e, conseqüentemente, aumentando a absorção de nitrogênio pela planta.

Outra hipótese que pode estar relacionada ao menor teor de nitrogênio foliar do milho no sistema plantio direto são as perdas do nutriente na forma de nitrato, pois de acordo com Rosolem, Foloni e Oliveira (2003), o referido íon é, normalmente, muito móvel no perfil do solo, especialmente em sistema plantio direto, pois com menor evaporação e melhor estruturação ao longo do perfil, a taxa de infiltração de água tende a ser maior. Dessa maneira, em consequência da mobilidade do nitrato para as camadas mais profundas do solo, as plantas de milho, no presente estudo, podem ter absorvido menor quantidade deste íon. E por último, outra justificativa seria a ocorrência de imobilização temporária do nitrogênio do solo e do mineralizado dos resíduos culturais por microrganismos no sistema plantio direto, resultando em menor quantidade de nitrogênio disponível às plantas neste sistema. Assis et al. (2003) citam em seu trabalho que durante o processo de imobilização, os microrganismos utilizam os nutrientes do solo, imobilizando-os em sua biomassa, tornando-os indisponíveis para as plantas, mesmo que temporariamente.

Tal resultado aponta para o fato de que, no sistema plantio direto, comparado aos manejos com revolvimento do solo, há necessidade de aumento na dose de nitrogênio para que o milho apresente maiores teores desse nutriente nas folhas, devido as modificações na dinâmica do nitrogênio nesse sistema, como a lenta taxa de decomposição dos resíduos vegetais deixados na superfície do solo, a maior taxa de imobilização microbiana do nitrogênio aplicado e do solo e, também, à uma possível reimplantação do próprio nitrogênio mineralizado do milho. No sistema plantio direto, pesquisas têm demonstrado que a maior presença de resíduos orgânicos, na superfície do solo, favorece maior atividade e imobilização do nitrogênio pelos microrganismos (AITA et al., 2001), o que pode comprometer a disponibilidade de nitrogênio para o milho (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002).

Na Tabela 23 está inserido o desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio para o teor de nitrogênio foliar no florescimento do milho para o ano agrícola 2009/10. Quando não se aplicou nitrogênio em cobertura, o cultivo de crotalária e de milho + crotalária proporcionou maior teor de nitrogênio foliar, resposta atribuída às maiores quantidades de nitrogênio acumuladas na massa seca de parte aérea destas culturas (Tabela 9) e conseqüentemente, à maior disponibilidade de nitrogênio à cultura. Nas demais doses de nitrogênio não se observaram diferenças entre as coberturas vegetais para o teor de nitrogênio foliar. O maior teor de nitrogênio foliar no milho em sucessão à crotalária e milho + crotalária mostra-se benéfico, pois tal condição, proporciona maior desenvolvimento da planta, conseqüentemente maior índice de área foliar, proporcionando maior síntese e acúmulo de carboidratos pela fotossíntese. Por conseguinte, a planta tem maior desenvolvimento, condicionando maior aproveitamento do nitrogênio do solo, do fertilizante e da mineralização dos resíduos vegetais, conforme ressaltado por Silva (2005).

Tabela 23- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para teor de nitrogênio foliar em plantas de milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10).

Cobertura vegetal	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)			
	0	60	90	120
	Nitrogênio foliar (g kg ⁻¹)			
Milho	19,0 b	24,7 a	25,2 a	26,5 a
Crotalária	23,8 a	26,5 a	27,1 a	27,7 a
Milho + crotalária	23,7 a	26,6 a	27,1 a	27,3 a

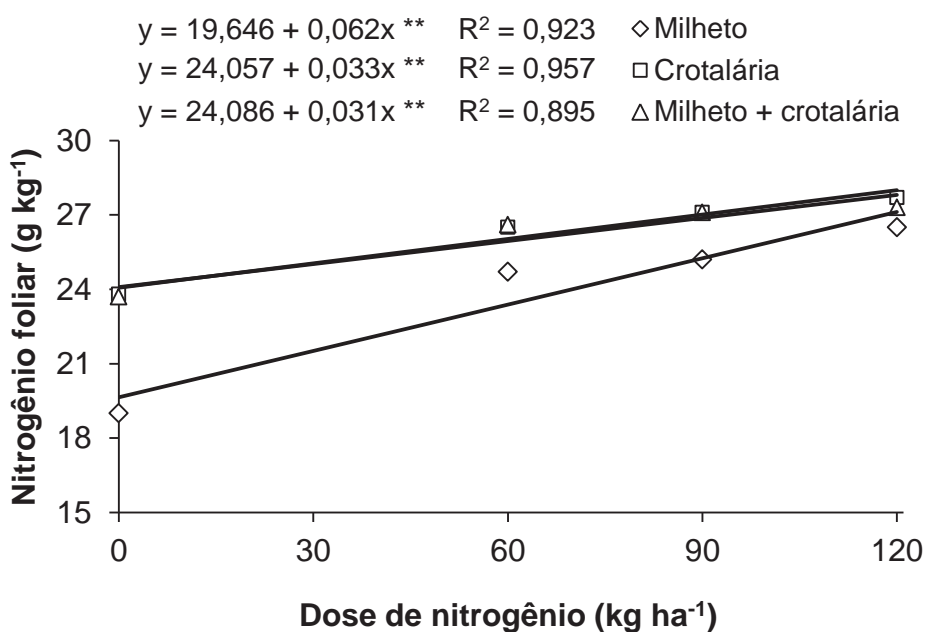
Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Possivelmente, no consórcio milho + crotalária, a relação C/N, embora não tenha sido mensurada, tenha sido baixa, ficando próxima à da crotalária no cultivo isolado. Esta hipótese pode ser fundamentada na dominância da crotalária sobre o desenvolvimento do milho durante o estabelecimento do consórcio, portanto, maior participação, em termos percentuais, da crotalária na produção de massa seca de parte aérea nesse consórcio. Perin et al. (2010) avaliaram a *Crotalaria juncea* e o milho, no cultivo isolado e consorciado, e verificaram que a fabácea contribuiu com

65% da produção total de massa seca.

O teor de nitrogênio foliar aumentou linearmente com o incremento na dose de nitrogênio após as coberturas vegetais no ano agrícola 2009/10 (Figura 12), corroborando com os resultados obtidos por Amaral Filho et al. (2005). Fernandes e Buzetti (2005) avaliaram, em Selvíria – MS, o efeito de dose de nitrogênio em cobertura (0, 90 e 180 kg ha⁻¹) na cultura do milho e, também verificaram ajuste linear dos dados de teor de nitrogênio foliar no florescimento em razão da alteração das respectivas doses. Nota-se, neste estudo, que quando a cultura antecessora foi o milheto, estimou-se a aplicação de 67,0 kg ha⁻¹ de nitrogênio para obter-se o mesmo teor de nitrogênio nas folhas do que quando a cultura antecessora foi a crotalária, na ausência do nutriente em cobertura, devido, possivelmente, à maior imobilização do nitrogênio aplicado, pela microbiota do solo, para a decomposição dos resíduos (SALTON; KICHEL, 1998; ALVA et al., 2006) e também, pela maior imobilização do nitrogênio do solo, que geralmente, se constitui na principal fonte de nutriente para as culturas (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002). Da mesma forma, pode ter ocorrido reimplantação do próprio nitrogênio mineralizado do milheto.

Figura 12- Teor de nitrogênio foliar em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



No ano agrícola 2010/11, o teor de nitrogênio foliar no florescimento do milho foi influenciado, isoladamente, por todos os fatores considerados e pelas interações entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio e entre manejo do solo e dose de nitrogênio (Tabela 15). O desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio está apresentado na Tabela 24. Nota-se que quando se aplicou 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, não se obteve diferença entre as coberturas vegetais para o teor de nitrogênio foliar no milho. Contudo, nas demais doses, evidencia-se que o cultivo de crotalária e de milho + crotalária proporcionou maior teor de nitrogênio foliar em relação ao milho.

Tabela 24- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para teor de nitrogênio foliar em plantas de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).

Cobertura vegetal	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)			
	0	60	90	120
	Nitrogênio foliar (g kg ⁻¹)			
Milheto	15,9 b	21,6 b	23,7 b	25,0 a
Crotalária	23,6 a	25,5 a	25,6 a	26,5 a
Milheto + crotalária	22,2 a	25,2 a	26,2 a	26,1 a

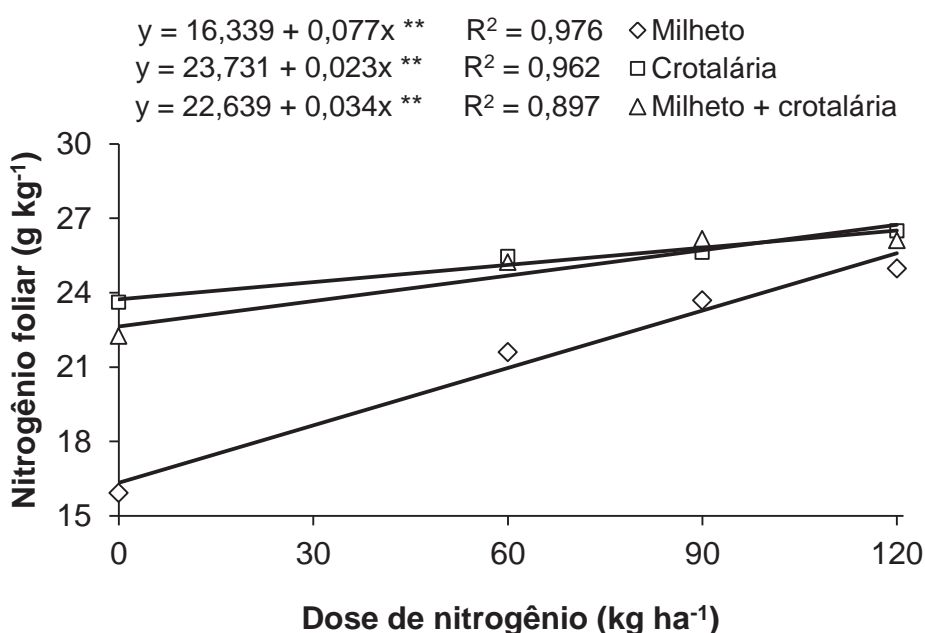
Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O fato de a crotalária e de o milho + crotalária terem proporcionado maior teor de nitrogênio foliar em relação ao milho, pode ser justificado pelas características fotossintéticas das respectivas culturas. Rosolem, Calonego e Foloni (2005) avaliaram a disponibilização de NH₄⁺ dos restos vegetais de seis espécies de culturas (aveia preta, milho, triticale, *Crotalaria juncea*, braquiária e sorgo), em função da simulação de chuva, e constataram-se lixiviações variando de 2,5 a 9,5 kg ha⁻¹ de NH₄⁺ somente com a ação da água das chuvas, sem que houvesse decomposição biológica dos resíduos vegetais. Neste trabalho, os pesquisadores puderam dividir as coberturas vegetais em dois grupos distintos: de um lado as espécies C₃ (triticale, aveia preta e *Crotalaria juncea*), com maior disponibilização de NH₄⁺ e; do outro as poáceas tropicais C₄ (braquiária, milho e sorgo), com lixiviações relativamente menores de NH₄⁺. Portanto, no trabalho de Rosolem, Calonego e Foloni (2005), houve mais nitrogênio disponível por unidade de massa

vegetal nos resíduos das culturas C₃ do que nas C₄. Constatações que de certa forma, corroboram os resultados obtidos nestes experimentos, em que foram observados maiores teores de nitrogênio foliar no milho cultivado após a fabácea (*Crotalaria juncea* – C₃) do que a poácea (milheto – C₄).

Novamente, o teor de nitrogênio foliar aumentou linearmente com o incremento na dose de nitrogênio após as coberturas vegetais no ano agrícola 2010/11 (Figura 13). Observa-se que, quando a cultura antecessora foi o milheto, foram necessários 94,3 kg ha⁻¹ de nitrogênio para concentrar a mesma quantidade de nitrogênio foliar do que quando a cultura antecessora foi a crotalária na ausência do nutriente em cobertura. Utilizando o mesmo híbrido de milho testado neste estudo, Silva et al. (2006a) avaliaram o efeito de culturas antecessoras (aveia preta, ervilhaca peluda e nabo forrageiro) e adubação nitrogenada, em sistema plantio direto, e verificaram incremento no teor de nitrogênio foliar com o aumento da dose de nitrogênio em cobertura (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha⁻¹), nas três sucessões de cultura. Os pesquisadores observaram, ainda, que o milho semeado em sucessão à aveia preta, teve a necessidade estimada em 128 kg ha⁻¹ de nitrogênio para acumular a mesma quantidade de nitrogênio nas folhas do que quando a cultura antecessora foi o nabo forrageiro e não se utilizou nitrogênio.

Figura 13- Teor de nitrogênio foliar em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



Encontra-se na Tabela 25, o desdobramento da interação entre manejo do solo e dose de nitrogênio para o teor de nitrogênio foliar no ano agrícola 2010/11. Constata-se diferença entre manejo do solo somente quando aplicado 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, em que o manejo com “grade pesada” + “grade leve” favoreceu maior teor de nitrogênio foliar no milho, embora não tenha se constatado diferença em comparação ao manejo com escarificador + “grade leve”. Tal constatação comprova novamente, o efeito imediato do revolvimento do solo sobre a decomposição dos resíduos culturais e disponibilização de nitrogênio, com conseqüente aumento na absorção deste nutriente pelas plantas.

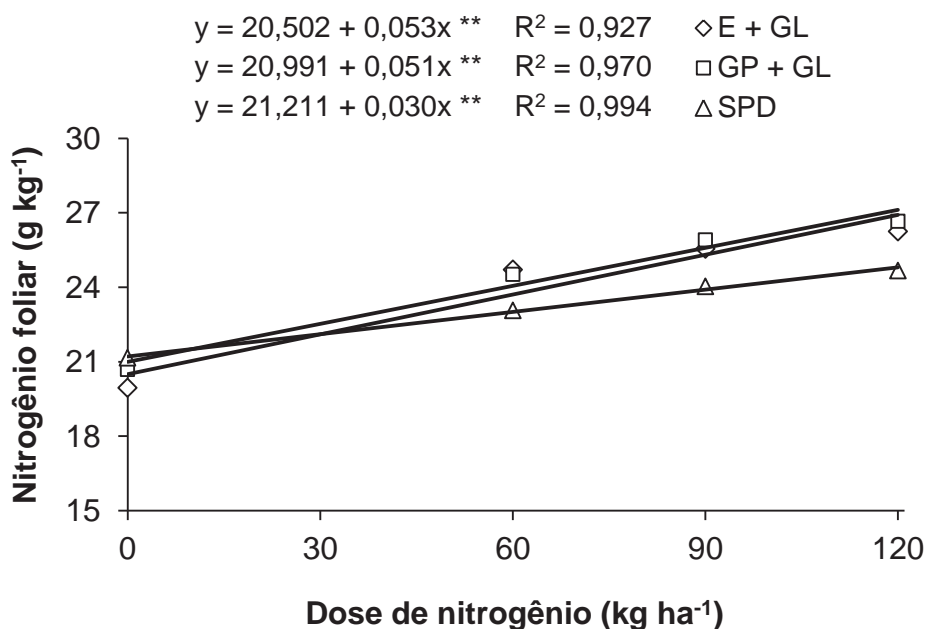
Tabela 25- Desdobramento da interação entre sistema de manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura para teor de nitrogênio foliar em plantas de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).

Manejo do solo ⁽¹⁾	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)			
	0	60	90	120
	Nitrogênio foliar (g kg ⁻¹)			
E + GL	19,9 a	24,7 a	25,5 ab	26,2 a
GP + GL	20,7 a	24,5 a	25,9 a	26,6 a
SPD	21,1 a	23,1 a	24,0 b	24,7 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.

Tal como era esperado, o teor de nitrogênio foliar aumentou de modo linear com a elevação na dose de nitrogênio após os três sistemas de manejo do solo (Figura 14). Sugere-se, desse modo, que os manejo do solo, somente, não propiciaram condições capazes de fornecer nitrogênio ao milho em quantidades satisfatórias, face à resposta da cultura à alteração da dose do nutriente. Avaliando o efeito de doses de nitrogênio em cobertura (0, 25, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹), na cultura do milho sob sistema plantio direto, Gomes et al. (2007) também verificaram incremento linear no teor de nitrogênio foliar no florescimento da cultura com o aumento na dose do nutriente.

Figura 14- Teor de nitrogênio foliar em função de manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade. Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.



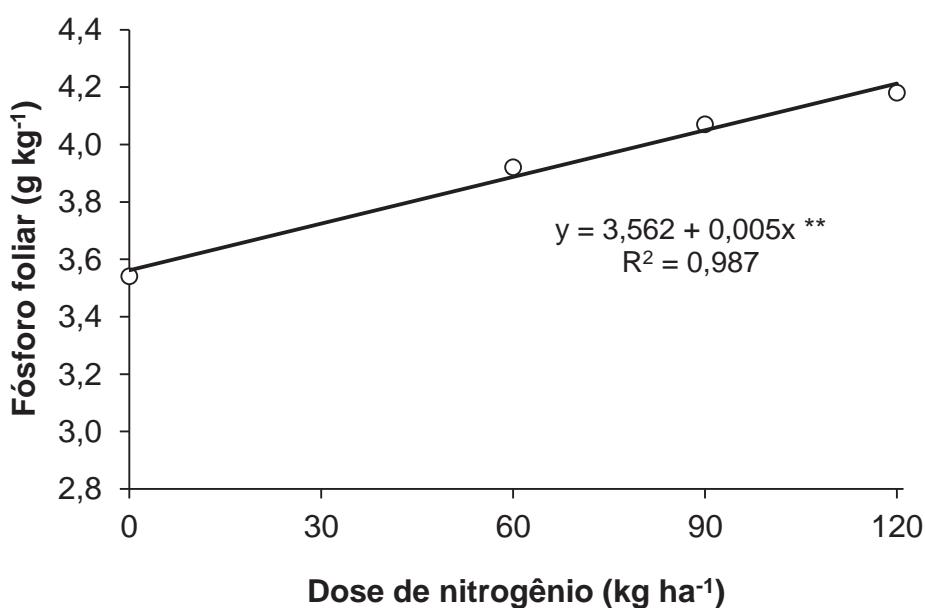
Semelhante aos teores obtidos por Lourente et al. (2007) e por Kaneko et al. (2010), no presente estudo, o teor de nitrogênio foliar no florescimento do milho variou de 15,9 a 27,7 g kg⁻¹ em função dos fatores considerados, apresentando-se relativamente abaixo da faixa de 28,0 a 35,0 g kg⁻¹ considerada adequada para o milho no Cerrado (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MALAVOLTA, 1992; RAIJ et al., 1996). Na média geral, o teor de nitrogênio foliar no ano agrícola 2010/11 foi menor em relação ao primeiro ano de cultivo (inferioridade de 6%) (Tabela 15), resultado que pode ser atribuído à maior precipitação pluvial registrada no referido ano e, conseqüentemente, às maiores perdas do íon nitrato por lixiviação no perfil do solo e à menor absorção do nutriente pela planta. Contudo, a eficiência de absorção dos nutrientes é uma característica influenciada por fatores genéticos, solo, como também, fatores ambientais (VELOSO et al., 2009). Além disso, os baixos teores de matéria orgânica nos três sistemas de manejo do solo (SOUSA; LOBATO, 2004) (Tabelas 2 e 3) podem ter contribuído para o baixa teor de nitrogênio foliar, haja vista que, geralmente, esta característica se constitui na principal fonte do nutriente para as culturas (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002).

4.3.6. Teor de fósforo foliar

O teor de fósforo foliar no florescimento do milho foi influenciado, isoladamente, pela cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio no ano agrícola 2009/10 (Tabela 15). O cultivo de crotalária e de milheto + crotalária, como antecessoras, propiciou maior teor de fósforo foliar, o que pode ser justificado pela maior quantidade de fósforo acumulada por estas culturas (Tabela 9) e conseqüentemente, maior disponibilidade do nutriente e absorção pelo milho.

De maneira similar à constatada para o índice de clorofila foliar e teor de nitrogênio foliar no florescimento no ano agrícola 2009/10, o manejo do solo com escarificador + “grade leve” e “grade pesada” + “grade leve” propiciou maior teor de fósforo foliar, possivelmente, relacionado à maior velocidade de decomposição e disponibilidade do nutriente à cultura. O incremento na dose de nitrogênio resultou em aumento linear no teor de fósforo foliar no milho (Figura 15). O maior teor de fósforo, obtido na dose de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, representou incremento de 20% em relação à ausência da aplicação do nutriente em cobertura.

Figura 15- Teor de fósforo foliar em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



Apesar de que na ausência da aplicação de nitrogênio em cobertura o teor de fósforo foliar tenha sido menor, comparativamente aos tratamentos que receberam o nutriente, o valor obtido é considerado acima da faixa adequada para o milho, que é entre 1,8 e 3,0 g kg⁻¹ (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MALAVOLTA, 1992; RAIJ et al., 1996). Este resultado pode ser devido ao fósforo solubilizado do fertilizante e aos teores adequados do nutriente no solo da área experimental, nos três sistemas de manejo do solo (SOUSA; LOBATO, 2004) (Tabelas 2 e 3), fato que reflete o suficiente suprimento deste nutriente à cultura, notadamente no segundo ano de cultivo, em que pode ter ocorrido efeito mais pronunciado da calagem realizada no ano agrícola 2009/10. Conforme ressaltado por Braz et al. (2004), a fertilidade do solo desempenha papel importante no desenvolvimento das plantas e nos teores de nutrientes em suas folhas. Os resultados corroboram com os obtidos por Casagrande e Fornasieri Filho (2002), que ao estudarem o manejo da adubação nitrogenada no milho, constataram maior teor de fósforo foliar no período de florescimento quando aplicado diferentes doses de nitrogênio (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹). Do mesmo modo, tais pesquisadores constataram que na ausência da aplicação de nitrogênio, o teor de fósforo foliar foi menor comparativamente aos tratamentos que receberam o nutriente, porém, dentro da faixa considerada adequada.

O teor de fósforo foliar no florescimento do milho, no ano agrícola 2010/11, foi influenciado, isoladamente, pela cobertura vegetal e dose de nitrogênio, verificando-se interação entre manejo do solo e dose de nitrogênio (Tabela 15). Condizente ao resultado obtido no primeiro ano de cultivo, a crotalária e o milheto + crotalária propiciaram novamente maior teor de fósforo foliar, resposta atribuída novamente, à maior quantidade de fósforo acumulada por estas culturas (Tabela 9) e conseqüentemente, maior disponibilidade do nutriente ao solo e maior absorção pelo milho.

O desdobramento da interação entre manejo do solo e dose de nitrogênio para o teor de fósforo foliar no ano agrícola 2010/11 está apresentado na Tabela 26. Apenas quando não se aplicou nitrogênio em cobertura obteve-se diferença entre manejo do solo, em que o sistema plantio direto proporcionou maior teor de fósforo foliar em relação ao manejo com escarificador + “grade leve”, porém estatisticamente semelhante ao do manejo com “grade pesada” + “grade leve”.

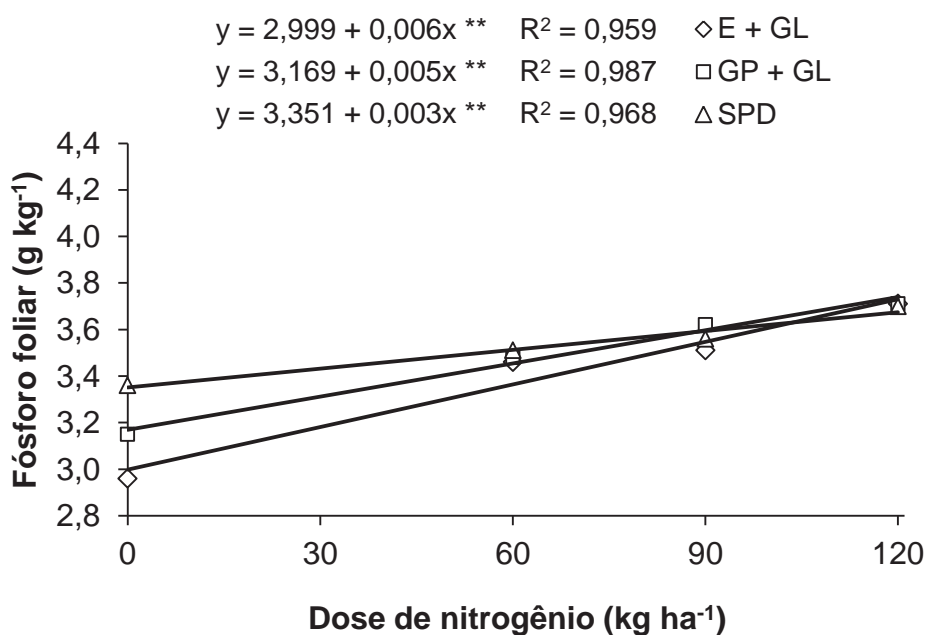
Tabela 26- Desdobramento da interação entre sistema de manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura para teor de fósforo foliar em plantas de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).

Manejo do solo ⁽¹⁾	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)			
	0	60	90	120
	Fósforo foliar (g kg ⁻¹)			
E + GL	3,0 b	3,5 a	3,5 a	3,7 a
GP + GL	3,1 ab	3,5 a	3,6 a	3,7 a
SPD	3,4 a	3,5 a	3,5 a	3,7 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.

Após os três manejos do solo, o teor de fósforo foliar aumentou de modo linear com a elevação na dose de nitrogênio (Figura 16). O aumento no teor de fósforo foliar, em ambos os anos agrícolas, em detrimento do incremento da dose de nitrogênio, revela a presença de sinergismo entre estes nutrientes. A obtenção de altas produtividades de milho é diretamente dependente de elevadas doses de nitrogênio (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002; SOUSA; LOBATO, 2004).

Figura 16- Teor de fósforo foliar em função de manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade. Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.



Todavia, respostas aquém das expectativas, mesmo com altas doses de nitrogênio, podem ocorrer em razão da deficiência de fósforo ou de outros nutrientes (MARSCHNER, 1995). A deficiência de fósforo pode induzir a de nitrogênio, 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), é marcante a influência do nitrogênio na maior absorção de fósforo pelo milho, o que de fato, foi observado no presente estudo.

4.3.7. Teor de potássio foliar

O teor de potássio foliar no florescimento do milho foi influenciado apenas pela interação entre cobertura vegetal e manejo do solo no primeiro ano de cultivo (Tabela 15). Houve diferença entre as coberturas vegetais apenas quando o solo foi manejado com escarificador + “grade leve”, em que a utilização de crotalária antecedendo o milho propiciou maior teor de potássio foliar, embora não tenha ocorrido diferença significativa comparativamente ao cultivo de milheto + crotalária (Tabela 27). Diferença entre sistemas de manejo do solo foi verificada somente quando o milheto antecedeu o milho, observando-se maior teor de potássio foliar com o manejo de “grade pesada” + “grade leve”, apesar de não se ter constatado superioridade estatística quando comparado ao sistema plantio direto.

Tabela 27- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e manejo do solo para teor de potássio foliar em plantas de milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10).

Cobertura vegetal	Manejo do solo ⁽¹⁾		
	E + GL	GP + GL	SPD
	Potássio foliar (g kg ⁻¹)		
Milheto	19,9 b B	21,6 aA	20,9 aAB
Crotalária	21,3 a A	21,3 aA	21,8 aA
Milheto + crotalária	20,7 abA	20,7 aA	20,7 aA

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

A ausência de alteração no teor de potássio foliar da cultura ao incremento da dose de nitrogênio ratifica os resultados observados por Casagrande e Fornasieri Filho (2002), os quais não verificaram influência de dose de nitrogênio (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹) sobre o teor foliar do referido nutriente no milho.

Assim como verificado com o fósforo, os teores médios de potássio na folha nos anos agrícolas 2009/10 (21,0 g kg⁻¹) e 2010/11 (23,7 g kg⁻¹) (Tabela 15) são considerados adequados para a cultura do milho, que varia de 13,0 a 30,0 g kg⁻¹ conforme Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), Malavolta (1992) e Raij et al. (1996). Este resultado pode ser devido ao suficiente suprimento de potássio ao milho, devido os seus teores no solo da área experimental, nos três sistemas de manejo do solo, se encontrarem dentro da faixa adequada de disponibilidade (SOUSA; LOBATO, 2004) (Tabelas 2 e 3). Ademais, o fato de o potássio não fazer parte de nenhum composto celular no vegetal (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), associado à consideração da liberação de 100% do potássio proveniente dos resíduos culturais (CALONEGO; FOLONI; ROSOLEM, 2005), pode ter contribuído para a sua rápida disponibilização à planta, com conseqüente aproveitamento pela planta e refletindo em teores foliares adequados para o milho.

É pertinente destacar que, tanto o aumento do teor de fósforo quanto ao de potássio foliar em função do incremento da dose de nitrogênio, pode também, estar relacionado ao efeito indireto do nitrogênio, ou seja, no favorecimento do desenvolvimento do sistema radicular das plantas, conforme mencionaram Fancelli e Dourado Neto (1996).

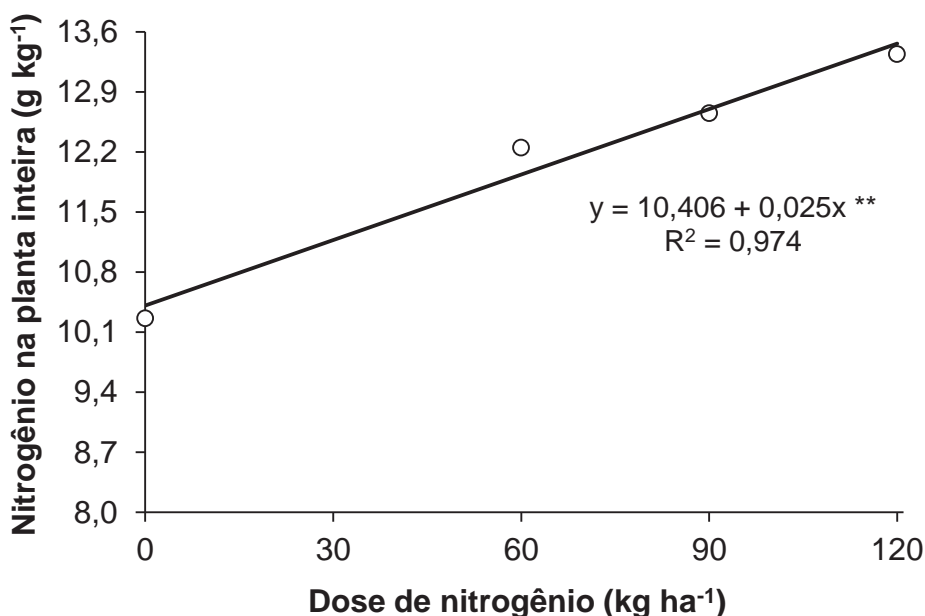
4.3.8. Teor de nitrogênio na planta inteira

O monitoramento dos teores dos nutrientes na planta, por meio de análise de tecido foliar, se faz necessário para alcançar a produtividade desejada. Isso se deve à elevada capacidade extrativa da cultura (BÜLL, 1993), principalmente de nitrogênio, podendo haver necessidade de até 100 kg ha⁻¹ do nutriente para se produzir 5.800 kg ha⁻¹ de grãos, sendo que dessa quantidade, cerca de 75% é exportado pelos grãos (COELHO; FRANÇA, 1995).

O teor de nitrogênio na planta inteira de milho, no ano agrícola 2010/11, foi influenciado, isoladamente, pela dose de nitrogênio, independente de cobertura vegetal e manejo do solo (Tabela 16). Entretanto, Figueiredo et al. (2005), avaliando manejo do solo no Cerrado (Latosolo Vermelho), verificaram alterações na dinâmica de absorção de nitrogênio pelo milho, sendo que sob sistema plantio direto e manejo com escarificador, houve maior eficiência de recuperação no nitrogênio oriundo do fertilizante, além de maiores teores do nutriente nos grãos quando comparado aos manejos com arados de disco e aiveca.

Nota-se, perante análise de regressão, que a elevação da dose de nitrogênio proporcionou incremento linear no teor deste nutriente na planta inteira (Figura 17), revelando insuficiência do nitrogênio fornecido em cobertura. O maior valor de teor do nutriente na planta, verificado com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de nitrogênio, representou, em relação à ausência do nutriente em cobertura, incremento de 29%, demonstrando dessa maneira, considerável aproveitamento do nitrogênio mineral aplicado em cobertura.

Figura 17- Teor de nitrogênio na planta inteira em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



Os resultados mostram-se coerentes aos obtidos por Carvalho, Von Pinho e Davide (2011), os quais relataram aumento linear no teor de nitrogênio na planta

inteira de milho à medida que se alterou a dose de 40 para 160 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura. Silva et al. (2009a) constataram que o milho cultivado em sucessão ao milho e à *Crotalaria juncea* apresentou incremento linear no acúmulo de nitrogênio na planta inteira em resposta às doses do nutriente em cobertura, corroborando, em parte, com os resultados deste estudo.

O teor médio de nitrogênio na planta inteira (12,1 g kg⁻¹) (Tabela 16) correspondeu à 1,5% da massa seca média do milho no ano agrícola 2010/11 (126,5 g planta⁻¹) (Tabela 13). Portanto, condizente com Havlin et al. (2005), os quais evidenciaram que nas plantas, o nitrogênio representa de 1 a 6% da sua massa seca. Ademais, esse resultado é de suma importância ao agricultor, haja vista que 75% do nitrogênio absorvido pelo milho é exportado pelos grãos (COELHO; FRANÇA, 1995).

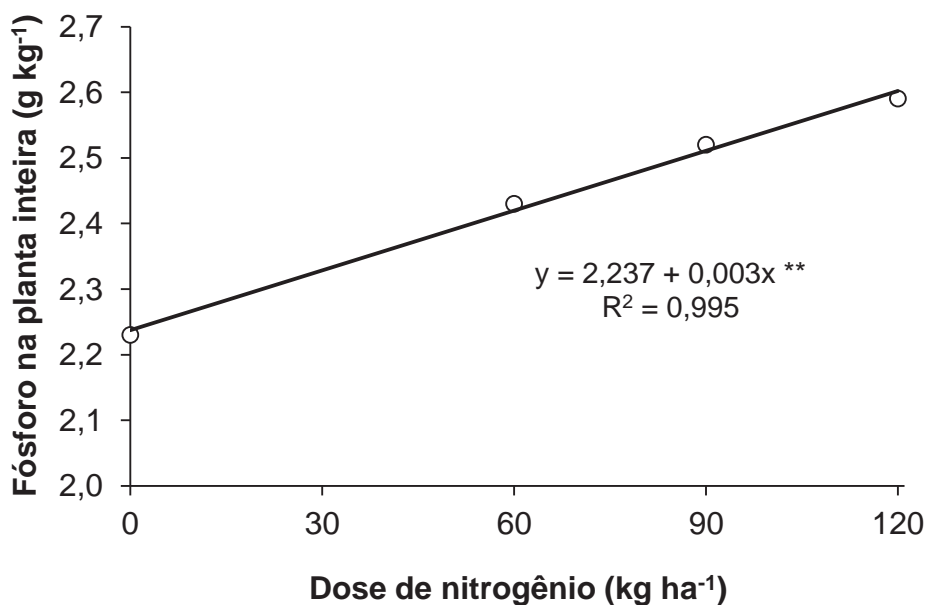
Deve-se considerar ainda, que os resultados do teor de nitrogênio na planta inteira podem estar subestimados, assim como ressaltado para as quantidades de nitrogênio, fósforo e potássio recicladas pelas coberturas vegetais. Neste caso, pode-se atribuir dois fatores para justificar a subestimação do teor de nitrogênio na planta: (i) não está sendo considerado o nutriente contido no sistema radicular da planta e; (ii) estágio fenológico em que as plantas foram coletadas para avaliação (florescimento). De acordo com Cantarella (1993), embora a absorção de nitrogênio pelo milho seja mais intensa dos 40 aos 60 dias após a emergência, a planta ainda absorve considerável quantidade de nitrogênio após o início do florescimento, estágio no qual esta característica nutricional foi mensurada no presente estudo.

4.3.9. Teor de fósforo na planta inteira

Similar ao constatado com o nitrogênio, o teor de fósforo na planta inteira de milho, no ano agrícola 2010/11, foi influenciado, isoladamente, somente pela dose de nitrogênio (Tabela 16). Perante análise de regressão, observa-se que a elevação da dose de nitrogênio proporcionou incremento linear no teor de fósforo na planta inteira no florescimento (Figura 18), confirmando novamente, a presença de sinergismo entre a absorção destes nutrientes pelo milho e aos relatos de Büll (1993), ao mencionar que é marcante a influência do nitrogênio na maior absorção

de fósforo pelo milho. O maior teor de fósforo na planta, obtido com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, representou, em relação à ausência do nutriente em cobertura, acréscimo de 18%.

Figura 18- Teor de fósforo na planta inteira em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



A quantidade média de fósforo acumulada na massa seca do milho, no ano agrícola 2010/11, embora seja relativamente baixa (16,8 kg ha⁻¹) (Tabela 16), se faz importante no sistema de produção agrícola, em virtude de que 95% do fósforo absorvido pela planta é exportado pelos grãos (COELHO; FRANÇA, 1995), notadamente, nas lavouras destinadas à silagem de planta inteira, em que a exportação assume 100% do total acumulado na parte aérea. Nesse caso, assume importância as adubações de reposições do nutriente no ambiente produtivo.

4.3.10. Teor de potássio na planta inteira

Embora o teor de potássio tende a aumentar com o aumento de produtividade, pois ele participa do transporte de sacarose e fotoassimilados no

sentido da fonte para o dreno (MARSCHNER, 1995), o seu teor na planta inteira de milho no florescimento, no ano agrícola 2010/11, não foi afetado por nenhum dos fatores considerados neste estudo (Tabela 16), fato que demonstra, a ausência de sinergismo na absorção de nitrogênio e potássio pela cultura.

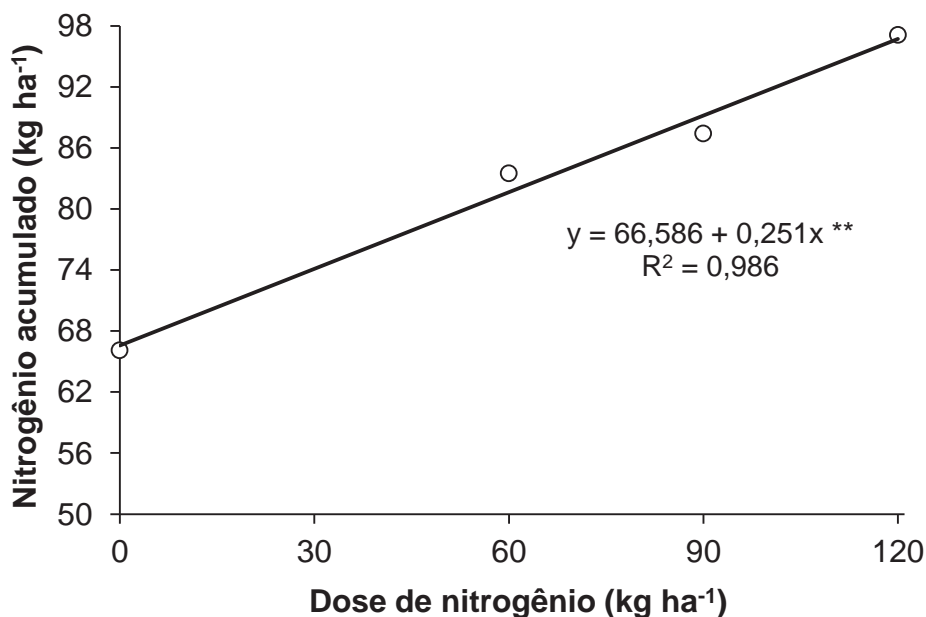
4.3.11. Nitrogênio acumulado

A estimativa da quantidade de nitrogênio acumulada na massa seca de parte aérea de plantas de milho, no florescimento, foi influenciada, isoladamente, por todos os fatores considerados (Tabela 16). O cultivo de crotalária e de milheto + crotalária antecedendo o milho proporcionou maior quantidade de nitrogênio acumulada na massa seca de parte aérea quando comparado ao milheto, devido à maior disponibilidade de nitrogênio propiciado por estas culturas. Ademais, a maior quantidade de nitrogênio acumulada pode, também, ser justificada pela maior produção de massa seca acumulada (Tabela 13), haja vista que o teor do nutriente na planta inteira foi semelhante em função das coberturas vegetais (Tabela 16), e que o nitrogênio acumulado foi obtido pelo produto do teor do nutriente na planta inteira (g kg^{-1}) e da produção de massa seca da cultura (kg ha^{-1}).

Embora não tenha diferido do manejo do solo com escarificador + “grade leve”, o sistema plantio direto propiciou maior quantidade de nitrogênio acumulada na massa seca de parte aérea das plantas, o que também, pode ter ocorrido em detrimento da maior produção de massa seca propiciada por esse sistema (Tabela 13), haja vista que o teor do nutriente na planta inteira foi semelhante em função do manejo do solo (Tabela 16).

A quantidade de nitrogênio acumulada na massa seca de parte aérea de plantas aumentou linearmente em resposta as doses crescentes de nitrogênio em cobertura (Figura 19). Tal resultado é justificado pela resposta linear verificada com a produção de massa seca de parte aérea acumulada pelo milho (Figura 7) e pelo teor de nitrogênio na planta inteira (Figura 17) à medida que se aumentou as doses de nitrogênio em cobertura, conforme mencionado anteriormente.

Figura 19- Nitrogênio acumulado na massa seca de parte aérea em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



Levando-se em consideração que o aproveitamento do nitrogênio aplicado como fertilizante mineral raramente ultrapassa 50% (LARA CABEZAS et al., 2004) e que as quantidades totais de nitrogênio acumuladas na massa seca de plantas inteiras de milho foram superiores às quantidades fornecidas no solo via adubação de cobertura, na ausência do nutriente em cobertura e perante a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Tabela 16), fica evidente a contribuição do fornecimento natural de nitrogênio pelo solo e pelas coberturas vegetais. Porém, quando se aplicou 90 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, pode-se deduzir a ocorrência de perdas do nutriente no sistema solo-planta, face às quantidades acumuladas terem sido relativamente menores se comparadas às fornecidas no solo via adubação de cobertura; este resultado pode ser atribuído ao fato de que, o aumento da dose de nitrogênio, na maioria das vezes, proporciona decréscimo no aproveitamento do nutriente pelo milho, em vista do suprimento de nitrogênio exceder as necessidades da cultura (FERNANDES; BUZETTI, 2005; FERNANDES et al., 2005) e as possíveis perdas de nitrogênio, principalmente por lixiviação e volatilização (CANTARELLA; DUARTE, 2004; SILVA et al., 2006b).

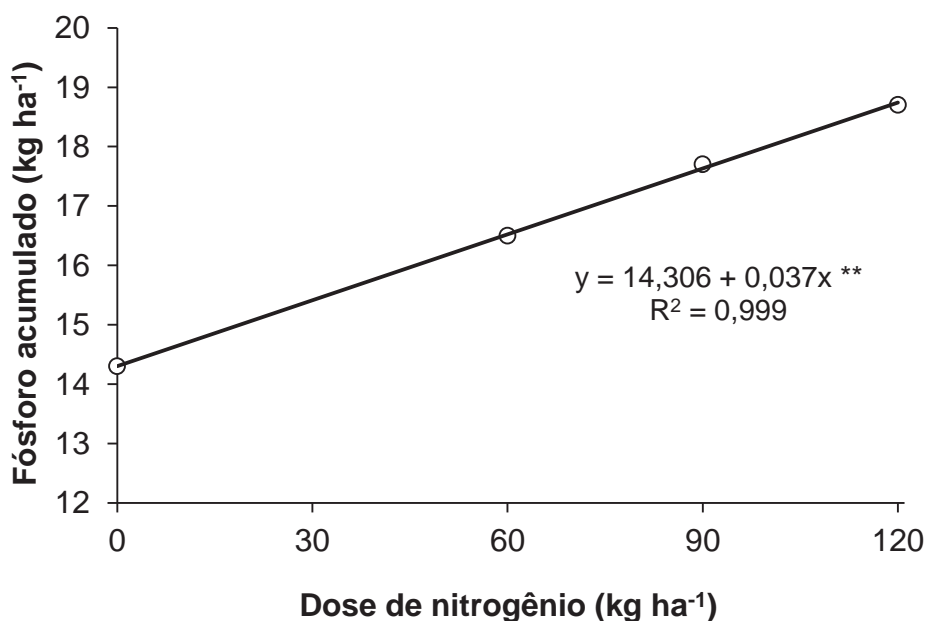
4.3.12. Fósforo acumulado

A estimativa da quantidade de fósforo acumulada na massa seca de parte aérea de plantas de milho no florescimento foi influenciada, isoladamente, por todos os fatores estudados (Tabela 16). Assim como o verificado com o nitrogênio acumulado, o cultivo de crotalária e de milho + crotalária antecedendo o milho favoreceu maior quantidade de fósforo acumulada na massa seca de parte aérea quando comparado ao milho. Certamente, este resultado está relacionado à maior produção de massa seca acumulada pelo milho quando cultivado em sucessão a essas coberturas vegetais (Tabela 13), uma vez que, o teor de fósforo na planta inteira (característica utilizada para estimar a quantidade total de fósforo acumulada pelo milho), não foi influenciado pelas coberturas vegetais (Tabela 16).

Apesar de que não tenha diferido do manejo do solo com escarificador + “grade leve”, o sistema plantio direto proporcionou maior quantidade de fósforo acumulada na massa seca de parte aérea das plantas. Do mesmo modo, este resultado também pode estar relacionado à maior produção de massa seca acumulada pelo milho em sistema plantio direto (Tabela 13), pois o teor de fósforo na planta inteira não foi influenciado pelo manejo do solo (Tabela 16).

Similar ao resultado obtido com o nitrogênio acumulado, o incremento da dose de nitrogênio em cobertura resultou em aumento linear da quantidade de fósforo acumulada na massa seca de parte aérea de plantas (Figura 20). De modo similar, este resultado pode ser justificado pela resposta linear verificada com a produção de massa seca de parte aérea acumulada pelo milho (Figura 7) e pelo teor de fósforo na planta inteira (Figura 18) à medida que se aumentou as doses de nitrogênio em cobertura.

Figura 20- Fósforo acumulado na massa seca de parte aérea em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



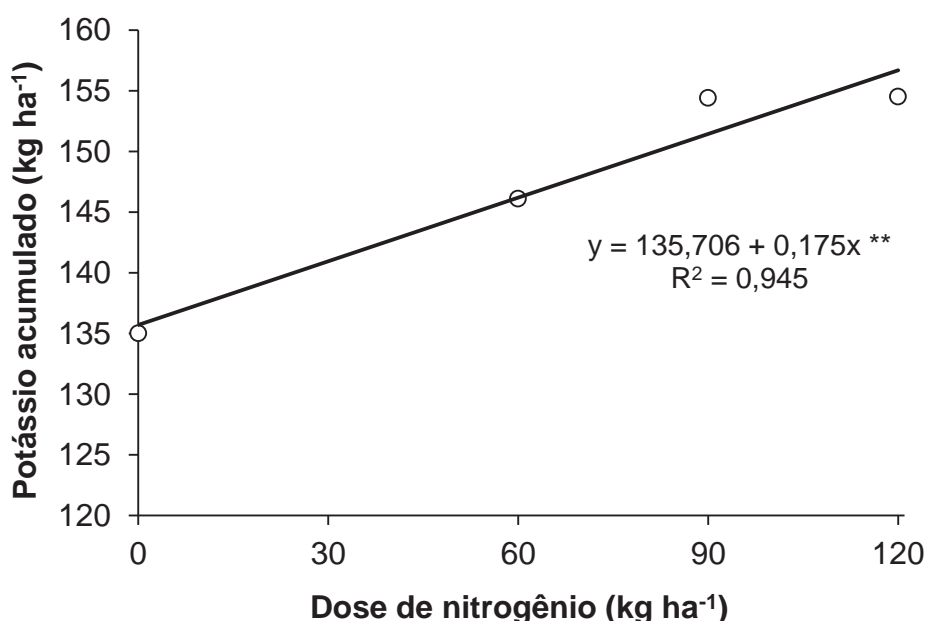
4.3.13. Potássio acumulado

A estimativa da quantidade de potássio acumulada na massa seca de parte aérea de plantas de milho no florescimento foi influenciada, isoladamente, por todos os fatores considerados (Tabela 16). O cultivo de crotalária e de milho + crotalária antecedendo o milho proporcionou maior quantidade de potássio acumulada na massa seca de parte aérea quando comparado ao milho. Similar ao fósforo acumulado, é provável que, este resultado esteja relacionado à maior produção de massa seca acumulada pelo milho quando cultivado em sucessão a essas coberturas vegetais (Tabela 13), uma vez que, o teor de potássio na planta inteira (característica utilizada para estimar a quantidade total de fósforo acumulada pelo milho), não foi influenciado pelas coberturas vegetais (Tabela 16).

O sistema plantio direto proporcionou maior quantidade de potássio acumulada na massa seca de parte aérea quando comparado com os manejos com revolvimento do solo, o que pode ser atribuído à maior produção de massa seca acumulada pelo milho em sistema plantio direto (Tabela 13), haja vista que o teor de fósforo na planta inteira não foi influenciado pelo manejo do solo (Tabela 16).

A quantidade de potássio acumulada na massa seca de parte aérea de plantas aumentou de maneira linear em resposta as doses crescentes de nitrogênio em cobertura (Figura 21). Tal resultado é justificado pela resposta linear verificada com a produção de massa seca de parte aérea acumulada pelo milho (Figura 7) à medida que se aumentou as doses de nitrogênio em cobertura, haja vista que o teor de potássio na planta não foi distinto em função dos fatores estudados.

Figura 21- Potássio acumulado na massa seca de parte aérea em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



4.3.14. Altura de planta

Dentre as características morfológicas do milho, a altura de planta não tem, geralmente, correlação com a produtividade; genótipos modernos, com alto potencial produtivo, são, em sua maioria, de porte baixo, mas também se podem encontrar materiais de porte alto com desempenho semelhante aos baixos (CRUZ et al., 2008b).

A altura de planta, nos anos agrícolas 2009/10 e 2010/11, apresentou resultado similar e foi influenciada, isoladamente, por todos os fatores considerados, observando-se interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio (Tabela 17). O

sistema plantio direto 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 revolvimento do solo, em virtude da incorporação e decomposição mais rápida dos resíduos culturais, tenha proporcionado maior evaporação da água retida no solo, em razão da elevação da temperatura, o que pode ter prejudicado o desenvolvimento das plantas. Portanto, admite-se que no sistema plantio direto, em que a produção de massa seca das coberturas vegetais ficou sobre a superfície por maior período de tempo, tenha ocorrido maior proteção do solo, menor evaporação e, conseqüentemente, aumento da capacidade de armazenamento de água da chuva, favorecendo dessa maneira, o desenvolvimento das plantas. No entanto, os resultados discordam dos obtidos por Carvalho et al. (2004), os quais relataram maior altura de planta de milho quando este foi cultivado após o solo ter sido manejado com “grade pesada” em relação ao sistema plantio direto.

Neste estudo, a elevada altura de planta obtida no sistema plantio direto pode estar relacionada à maior população de plantas comparativamente aos manejos com revolvimento do solo (Tabela 12). Portanto, admite-se que nesse sistema, a competição intraespecífica na linha de semeadura por água, luz e nutrientes (DOURADO NETO et al., 2003) tenha sido elevada, com conseqüente estímulo da dominância apical das plantas, conforme relataram Argenta, Silva e Sangoi (2001). Além disso, a menor oxidação de auxinas decorrente da proximidade das plantas estimula a alongação celular e com isso, os entrenós do colmo são mais longos, aumentando a altura da planta (SANGOI et al., 2002). Outros pesquisadores também constataram maior altura de planta de milho quando este foi submetido a elevada densidade populacional (KUNZ, 2005; MEROTTO JÚNIOR; ALMEIDA; FUCHS, 1997; PALHARES, 2003; SANGOI et al., 2002) e atribuíram esse aumento ao maior alongamento dos entrenós, proporcionado pelo efeito combinado da competição intraespecífica por luz e estímulo da dominância apical das plantas.

Outra hipótese que pode estar relacionada à menor altura de planta constatada com revolvimento do solo, em ambos os anos agrícolas, pode ser a presença de “pé de grade”, formado a partir das operações de manejo com os implementos utilizados neste estudo. A referida hipótese é fundamentada no fato de que, este fator tenha afetado a estrutura do solo e a drenagem da água, refletindo imediatamente, na diminuição do volume de macroporos e dificultando a aeração,

com conseqüente, redução do desenvolvimento radicular das plantas. Ressalta-se que, na maioria dos casos, o revolvimento do solo propicia melhor desenvolvimento do sistema radicular, aproveitamento de água e nutrientes, resultando em plantas mais desenvolvidas, conforme evidenciado no estudo de Nascente et al. (2011). Em contrapartida, estes resultados revelam, indiretamente, a boa estruturação e porosidade e ausência de compactação do solo da área experimental no sistema plantio direto, que pode ser atribuída à longevidade e estabilidade do sistema.

Na Tabela 28, em que se tem o desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio para o ano agrícola 2009/10, verifica-se que quando não se aplicou nitrogênio em cobertura, o cultivo de crotalária e de milho + crotalária proporcionou maior altura de planta comparativamente ao milho. Na aplicação de 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, maior altura de planta foi verificada quando a cultura antecessora foi a crotalária, embora esta superioridade não tenha diferenciada do milho. Sobretudo, nas demais doses avaliadas (60 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio) não houve diferença entre as coberturas vegetais para a altura de planta. De forma condizente, Silva (2005) constatou maior altura de planta de milho quando cultivado em sucessão à crotalária, diferindo estatisticamente da sucessão pousio-milho e milho-milho.

Tabela 28- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para altura de planta de milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10).

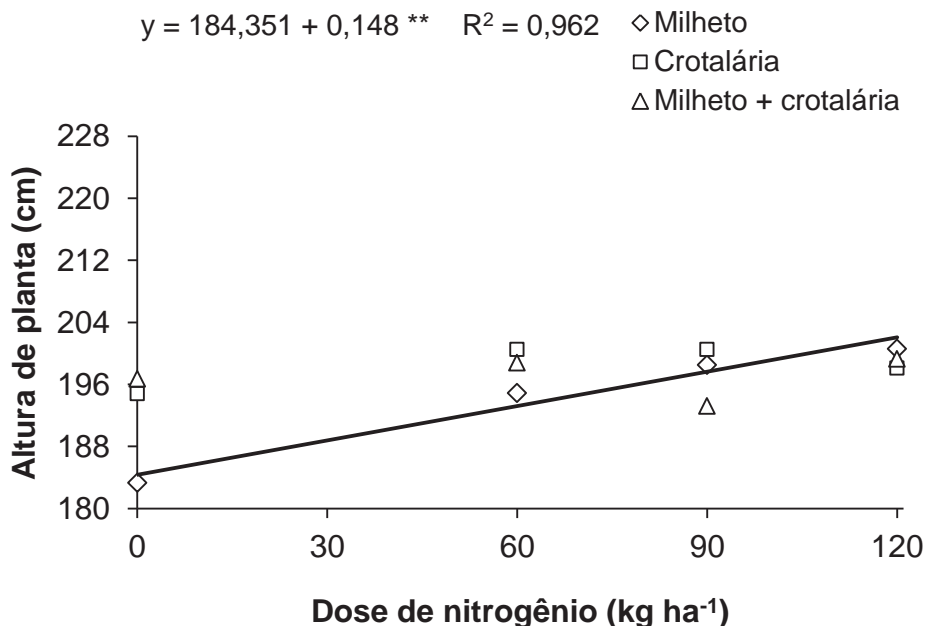
Cobertura vegetal	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)			
	0	60	90	120
	Altura de planta (cm)			
Milho	183,3 b	194,9 a	198,5 ab	200,6 a
Crotalária	194,8 a	200,5 a	200,5 a	198,1 a
Milho + crotalária	196,7 a	198,8 a	193,2 b	199,3 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na análise de regressão, nota-se que quando o milho antecedeu o cultivo, houve aumento linear de altura de planta com o incremento na dose de nitrogênio em cobertura no ano agrícola 2009/10 (Figura 22). Isso se explica devido ao maior desenvolvimento vegetativo das plantas em resposta ao nitrogênio. A maior altura de

planta foi constatada com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de nitrogênio, representando em relação à ausência do nutriente em cobertura, superioridade de 9%. Aumento na altura de planta em resposta às alterações na dose de nitrogênio na cultura do milho também foi evidenciado por Mar et al. (2003), Silva, Oliveira e Silva (2003), Silva et al. (2006a), Gomes et al. (2007), Lana et al. (2009) e Santos et al. (2010c). Segundo Marschner (1995), em cereais, a aplicação de doses elevadas de nitrogênio nos estádios iniciais de desenvolvimento (duas a quatro folhas expandidas) aumenta a produção de fitormônios promotores do desenvolvimento responsáveis pelos processos de divisão e expansão celular (giberilinas, auxinas e citocininas), aumentando o alongamento do colmo e, conseqüentemente, a altura das plantas. De acordo com Büll (1993), uma planta bem nutrida em nitrogênio apresenta maior desenvolvimento da área foliar e do sistema radicular, pois este nutriente influencia a divisão, a expansão celular e a fotossíntese, o que leva ao aumento da altura.

Figura 22- Altura de planta em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



Apesar do verificado, a literatura sobre alteração na altura de planta em função de dose de nitrogênio no milho é contraditória. Costa (2000) avaliou doses de nitrogênio na semeadura ($30, 60$ e 90 kg ha^{-1}) e em cobertura ($30, 60$ e 90 kg ha^{-1}) do milho e não obteve diferença para altura de planta. Souza et al. (2003) avaliaram

a influência de culturas antecessoras (aveia preta e nabo forrageiro) e adubação nitrogenada no milho irrigado em sistema plantio direto (0, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura) e não constataram efeito significativo para a cultura antecessora, as doses de nitrogênio e a interação entre tais fatores. Do mesmo modo, Tomazela et al. (2006) evidenciaram ausência de resposta da cultura do milho à aplicação de doses elevadas de nitrogênio em relação à altura de planta.

No desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio para o ano agrícola 2010/11 (Tabela 29), observa-se que quando não se aplicou nitrogênio em cobertura e perante aplicação de 60 kg ha⁻¹ do nutriente, a crotalária e o milho + crotalária proporcionaram maior altura de planta comparativamente ao milho. Quando se aplicou 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, maior altura de planta foi verificada quando o consórcio milho + crotalária antecedeu o milho, embora esta superioridade não tenha diferenciada da crotalária. Na dose de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio não houve diferença entre as coberturas vegetais para a altura de planta.

Tabela 29- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para altura de planta de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).

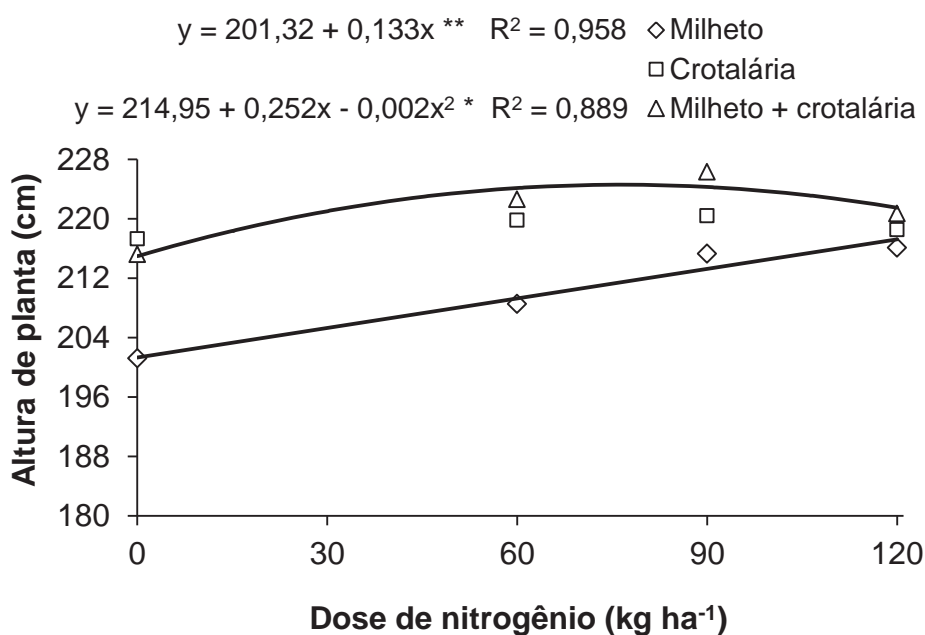
Cobertura vegetal	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)			
	0	60	90	120
	Altura de planta (cm)			
Milho	201,2 b	208,5 b	215,3 b	216,1 a
Crotalária	217,3 a	219,8 a	220,4 ab	218,5 a
Milho + crotalária	215,2 a	222,6 a	226,3 a	220,7 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Assim como observado no ano agrícola 2009/10, perante análise de regressão, houve aumento linear da altura de planta com o incremento na dose de nitrogênio em cobertura quando o milho antecedeu o milho no ano agrícola 2010/11 (Figura 23). A maior altura de planta, constatada com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, representou superioridade de 7% em relação à ausência do nutriente em cobertura. Porém, quando o cultivo consorciado de milho + crotalária antecedeu o milho, houve comportamento quadrático da altura de planta em razão das alterações na dose de nitrogênio, cujo modelo permitiu afirmar o valor de 222,9

cm como sendo a máxima altura de planta obtida com a aplicação de 63 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura. De forma condizente, Souza e Soratto (2006) também verificaram resposta quadrática da altura de planta em função de dose de nitrogênio em cobertura (0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹), via ureia quando o milho apresentava-se em V₄, sendo que o maior valor foi de 168,0 cm perante a dose estimada de 66,8 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Comportamento quadrático da altura de planta foi obtido por Lucena et al. (2000) ao avaliarem a resposta do milho a doses de nitrogênio (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹) e verificaram a máxima altura de 146,3 cm com a dose de 100,0 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Figura 23- Altura de planta em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** e * – significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.



Normalmente, a deficiência de nitrogênio induz ao menor desenvolvimento da planta, proporcionando menor índice de área foliar e duração de folhas metabolicamente ativas. Este fato repercute diretamente sobre a quantidade de radiação interceptada, produção de massa seca e conseqüentemente, na produtividade, sendo que o efeito sobre a altura de planta depende do grau e do estágio fenológico da planta em que ocorrer (BÜLL, 1993). No entanto, a altura de planta é de alta herdabilidade genética e menos dependente do meio, a menos que a planta passe por uma deficiência nutricional muito acentuada, o que ocorreu na

ausência de aplicação de nitrogênio em cobertura, notadamente no milho cultivado em sucessão ao milheto (Tabelas 23 e 24). Nesse tratamento, observou-se nitidamente amarelecimento das folhas velhas nos dois anos agrícolas, o que certamente condicionou a uma menor altura de planta. Por outro lado, a maior altura de planta no milho cultivado em sucessão à crotalária e milho + crotalária, provavelmente deveu-se à menor imobilização microbiana do nitrogênio aplicado e do solo, em razão da sua menor relação C/N e também por terem fornecido maiores quantidades de nitrogênio à cultura comparada à sucessão com milheto.

O aumento da altura de planta em resposta à aplicação de nitrogênio confirma o relato de Büll (1993), em que a influência da adubação nitrogenada no incremento dessa característica morfológica. Silva, Oliveira e Silva (2003) explicam que, até determinada dose de nitrogênio, a planta continua a crescer; depois que tal dose é atingida, o auto-sombreamento das plantas, assim como o sombreamento mútuo entre plantas, deve contribuir para a redução do desenvolvimento. Resultados contrastantes aos constatados neste estudo foram obtidos por Escosteguy, Rizzardi e Argenta (1996). Num Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, com teor de matéria orgânica de 35,0 g dm⁻³, os referidos pesquisadores não encontraram diferença significativa entre dose e época de aplicação do nitrogênio em cobertura sobre a altura de planta quando se realizou a aplicação integral ou o parcelamento das doses de 80 e 160 kg ha⁻¹ de nitrogênio, em duas épocas de semeadura do milho.

Ressalta-se que a resposta linear da altura de planta ao aumento da dose de nitrogênio, obtida no presente estudo, quando o milheto foi a cultura antecessora, não pode ser considerada satisfatória, pois, atualmente, a menor altura de planta, uma das modificações verificadas na arquitetura das plantas de milho (ALMEIDA et al., 2000), tem sido uma característica desejável entre os produtores de milho, pois permite: (i) maior potencial para cultivo em populações adensadas em virtude da disposição anatômica das folhas (FARINELLI et al., 2003); (ii) maior penetração de luz no dossel; (iii) diminuição de competição intraespecífica por recursos naturais sob altas populações de plantas (KAPPES, 2010); (iv) redução de acamamento e quebramento de plantas antes do ponto de colheita, comumente evidenciado com plantas de porte elevado e; (v) maior eficiência na colheita mecânica. Porém, considerando as características mencionadas, as alturas médias de planta, 196,6 e 216,8 cm para os anos agrícolas 2009/10 e 2010/11, respectivamente (Tabela 17), obtidas no presente estudo, são adequadas para a cultura.

4.3.15. Altura de inserção de espiga

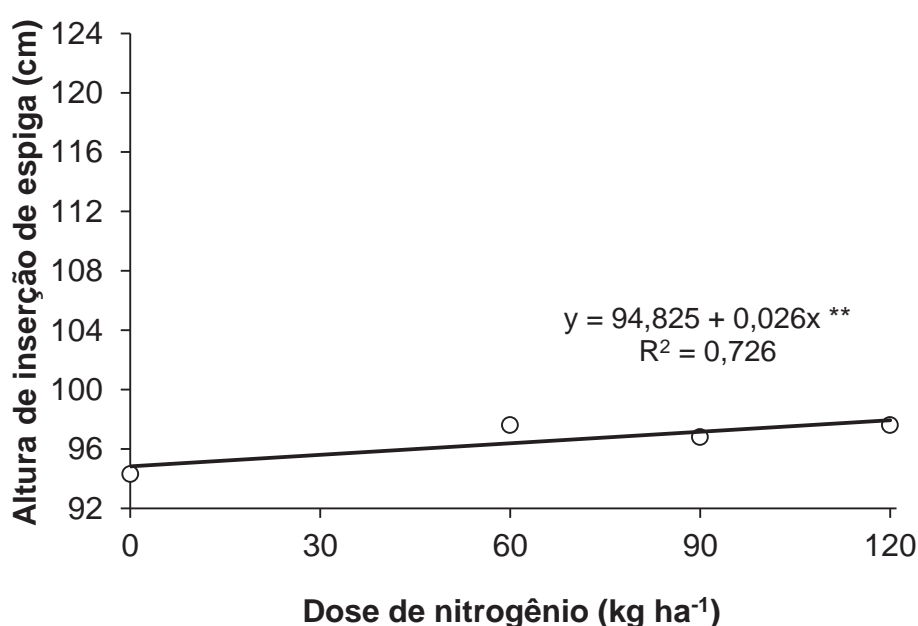
Na avaliação da cultura, a altura de inserção de espiga é muito importante por estar relacionada diretamente com o percentual de plantas acamadas e quebradas (RIZZARDI; PIRES, 1996). Quanto maior é a relação entre altura de inserção de espiga e altura da planta, mais deslocado estará o centro de gravidade da planta e maior é a possibilidade de quebra de colmo, uma vez que o milho aloca cerca de 50% da massa seca total nos grãos ao final do ciclo. Portanto, a menor altura de inserção de espiga é desejável na cultura, pois a menor distância entre o solo e o ponto de inserção da espiga contribui para o melhor equilíbrio da planta, minimizando a quebra de colmo, principalmente nas populações mais elevadas, nas quais o diâmetro desta estrutura é menor (SANGOI et al., 2002). Em função disso, plantas que apresentem menor altura de inserção de espiga tem sido alvo dos melhoristas dessa cultura.

No presente estudo, a altura de inserção de espiga foi influenciada, isoladamente, pelo manejo do solo e dose de nitrogênio no ano agrícola 2009/10 (Tabela 17). Como a altura de planta se relaciona de maneira direta com a altura de inserção de espiga (CORTEZ; FURLANI; SILVA, 2009), o sistema plantio direto proporcionou plantas com maior altura de inserção de espiga quando comparado ao manejo do solo com escarificador + “grade leve” e com “grade pesada” + “grade leve”. 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. Desse modo, justificativas contrárias podem ser válidas para o sistema plantio direto.

O incremento na dose de nitrogênio resultou em aumento linear da altura de inserção de espiga (Figura 24). O maior valor, constatado com as aplicações de 60 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, representou em relação à ausência de aplicação do nutriente em cobertura, aumento de 3%. Os resultados mostram-se coerentes com os obtidos por Mar et al. (2003), Silva, Oliveira e Silva (2003), Souza e Soratto (2006) e Lana et al. (2009). Os referidos pesquisadores avaliaram a resposta do milho à aplicação de nitrogênio e verificaram que a altura de inserção de espiga foi

influenciada significativamente, sendo que os tratamentos que receberam o nitrogênio apresentaram valores superiores em relação à testemunha. Conforme relatado por Büll (1993), uma planta bem nutrida em nitrogênio apresenta maior desenvolvimento da área foliar e do sistema radicular, pois este nutriente influencia a divisão, a expansão celular e a fotossíntese, o que leva ao aumento da altura de planta e, conseqüentemente, da altura de inserção da espiga.

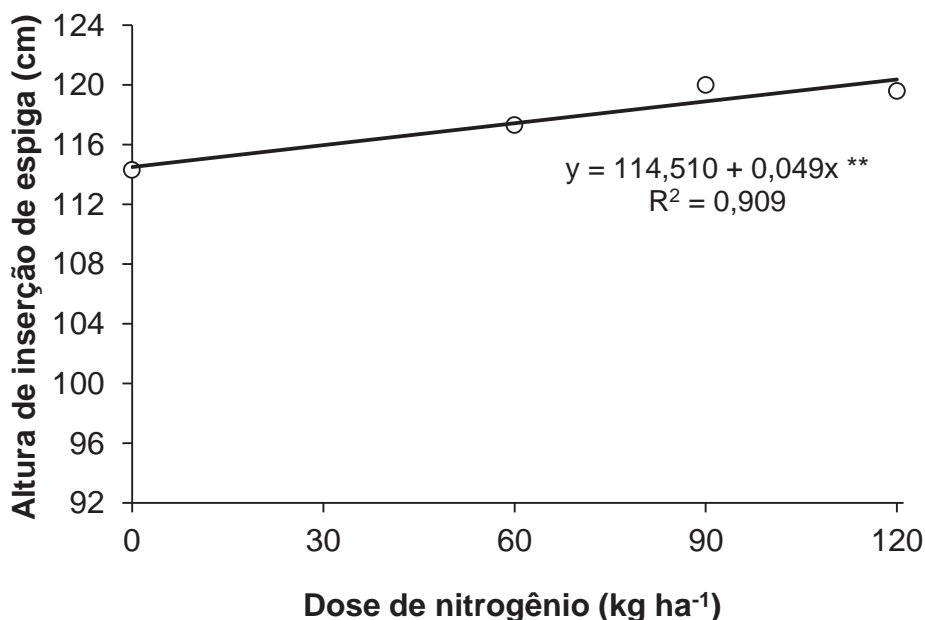
Figura 24- Altura de inserção de espiga em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



A altura de inserção de espiga, no ano agrícola 2010/11, foi influenciada, pela cobertura vegetal e dose de nitrogênio, independente de manejo do solo (Tabela 17). Na utilização do consórcio milho + crotalária antecedendo o milho, obteve-se plantas com maior altura de inserção de espiga, apesar de que esta superioridade não tenha diferenciada da crotalária. Novamente, o acréscimo na dose de nitrogênio resultou em incremento linear da altura de inserção de espiga (Figura 25), ratificando os resultados obtidos por Mar et al. (2003), Silva, Oliveira e Silva (2003), Souza e Soratto (2006) e Lana et al. (2009). O maior valor de altura de inserção de espiga, constatado com a aplicação de 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, representou em relação à ausência do nutriente em cobertura, superioridade de 5%. Soares (2003) constatou que a aplicação de nitrogênio resultou em plantas com

maior altura de inserção de espiga, apresentando superioridade de 30% em relação ao tratamento testemunha.

Figura 25- Altura de inserção de espiga em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



Embora a altura de inserção de espiga tenha aumentado de forma linear em detrimento da alteração da dose de nitrogênio em ambos os anos agrícolas, contrariando os resultados obtidos por Costa (2000), tal resposta sugere um efeito desfavorável sobre o híbrido utilizado, uma vez que a maior altura de espiga na planta a predispõe ao acamamento, conforme ressaltado por Casagrande e Fornasieri Filho (2002) ao estudarem o manejo da adubação nitrogenada no milho. Apesar de a altura de inserção de espiga ter sido alterada pelo acréscimo da dose de nitrogênio, isto em nada altera o procedimento de colheita realizado na região, em geral mecanizado.

No presente estudo, embora não tenha sido realizada análise comparativa dos resultados entre os anos agrícolas, nota-se considerável diferença entre as médias gerais de altura de inserção de espiga: 96,6 e 117,8 cm para os anos agrícolas 2009/10 e 2010/11, respectivamente (Tabela 17). Maddonni, Otegui e Cirilo (2001) ressaltam que esta é uma característica específica de cada híbrido, mas que pode variar em decorrência de condições ambientais pontuais ou de anos

agrícolas. A diferença constatada entre os anos agrícolas neste estudo corrobora, portanto, com as afirmações dos referidos pesquisadores.

4.3.16. Diâmetro de colmo

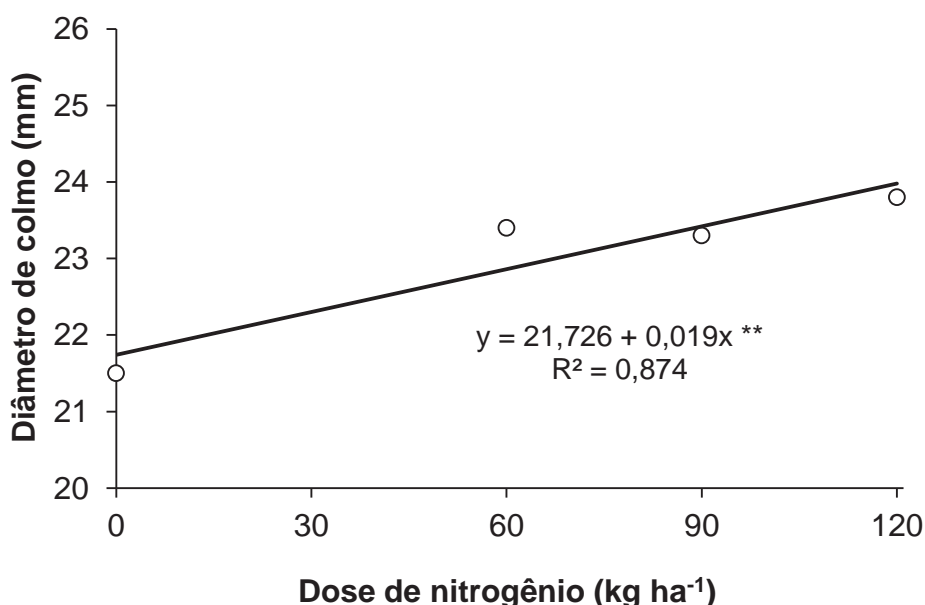
De acordo com Fancelli e Dourado Neto (2004), o desenvolvimento do colmo das plantas de milho ocorre principalmente a partir da emissão da oitava folha se prolongando até o florescimento, sendo que o colmo não somente atua como suporte de folhas e inflorescências, mas principalmente como uma estrutura destinada ao armazenamento de sólidos solúveis que serão utilizados, posteriormente, na formação dos grãos.

O diâmetro de colmo, no presente estudo, foi influenciado, pelo manejo do solo e dose de nitrogênio no ano agrícola 2009/10, independente de cobertura vegetal (Tabela 18). O manejo do solo com escarificador + “grade leve” e com “grade pesada” + “grade leve” favoreceu a obtenção de plantas com maior diâmetro de colmo comparativamente ao sistema plantio direto, o que pode estar vinculado à própria incorporação dos resíduos culturais ao solo, técnica que proporciona maior velocidade de decomposição e maior quantidade de nitrogênio disponibilizada e, conseqüentemente, aumentando a absorção de nitrogênio pela planta. Outra justificativa para tal resultado pode estar relacionada à população de plantas. Novamente, admite-se que tenha ocorrido elevada competição intraespecífica na linha de semeadura por água, luz e nutrientes (DOURADO NETO et al., 2003) no sistema plantio direto, proporcionando redução na disponibilidade desses fatores de produção por planta, diminuindo massa seca e fragilizando o diâmetro de colmo. Segundo Gross, Von Pinho e Brito (2006), o aumento da densidade interfere na massa individual das plantas, notadamente do colmo, como resultado da competição entre elas pelos recursos do meio. Diversos pesquisadores relataram maior diâmetro de colmo do milho quando este foi submetido à menor população de plantas (KUNZ, 2005; PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003; SANGOI et al., 2002).

A alteração da dose de nitrogênio, de 0 para 120 kg ha⁻¹, provocou incremento linear do diâmetro de colmo (Figura 26), sendo que o maior valor

constatado na dose de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio representou acréscimo de 11% em relação à ausência de aplicação do nutriente em cobertura. Soares (2003) verificou que o diâmetro de colmo foi significativamente influenciado pela aplicação de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, proporcionando aumento de 20% no diâmetro de colmo em comparação aos tratamentos que não receberam o nutriente. Aumento no diâmetro de colmo em resposta as alterações na dose de nitrogênio no milho também foi constatado por Mar et al. (2003), Silva et al. (2006a), Cruz et al. (2008b) e por Lana et al. (2009); entretanto, Lucena et al. (2000), Souza et al. (2003), Tomazela et al. (2006) e Meira et al. (2009) evidenciaram ausência de resposta da cultura do milho à aplicação de doses de nitrogênio em relação ao diâmetro do colmo.

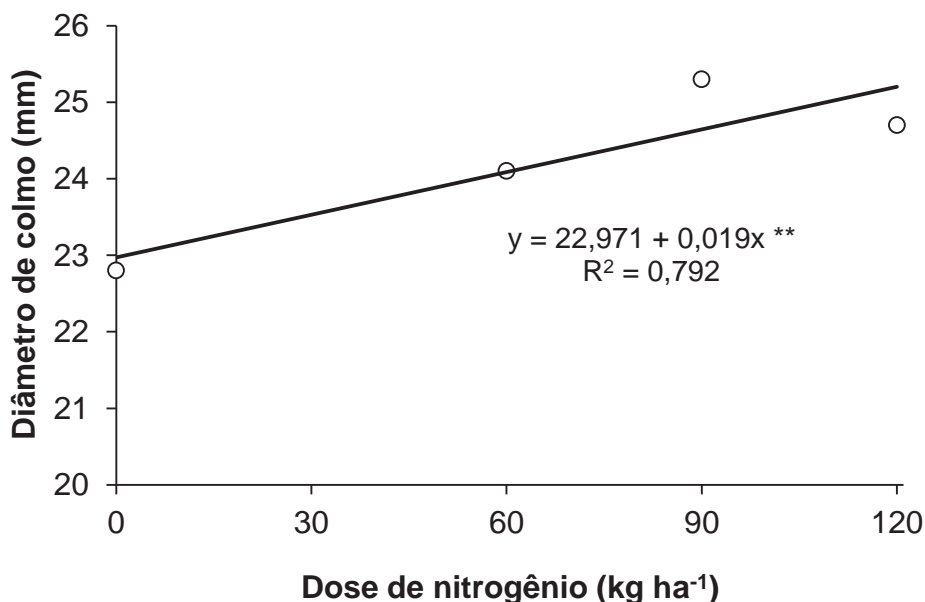
Figura 26- Diâmetro de colmo em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



No ano agrícola 2010/11, o diâmetro de colmo foi influenciado, isoladamente, apenas pela dose de nitrogênio (Tabela 18). O aumento da dose de nitrogênio proporcionou incremento linear do diâmetro de colmo (Figura 27), corroborando novamente com os resultados observados por outros pesquisadores (MAR et al., 2003; SILVA et al., 2006a; CRUZ et al., 2008b; LANA et al., 2009). O maior valor de diâmetro de colmo constatado na dose de 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio representou acréscimo de 11% em relação à ausência de aplicação do nutriente em

cobertura, resultado condizente ao obtido no primeiro ano agrícola e com o de Soares (2003).

Figura 27- Diâmetro de colmo em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



Embora tenha sido diminuto, o aumento do diâmetro de colmo com a dose de nitrogênio mostrou-se vantajoso, pois esta característica morfológica é uma das que mais tem sido relacionada com o percentual de quebramento de planta. Ademais, o diâmetro de colmo é muito importante para a obtenção de alta produtividade, pois quanto maior o seu diâmetro, maior a capacidade da planta em armazenar fotoassimilados que contribuirão com o enchimento dos grãos (CRUZ et al., 2008b; KAPPES et al., 2011a). Portanto, pode-se inferir que plantas que receberam a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio apresentam maior capacidade de armazenar fotoassimilados e maior resistência ao quebramento por ocasião da colheita (SANGOI et al., 2002; PALHARES, 2003; PENARIOL et al., 2003). Do mesmo modo, infere-se que plantas que não receberam aplicação de nitrogênio em cobertura podem ser mais suscetíveis ao acamamento e quebramento (BRUNS; ABBAS, 2005).

4.3.17. Percentual de quebramento de planta

A qualidade do colmo é uma das mais importantes características do milho para a produção em larga escala com colheita mecanizada, podendo ser avaliada pelo percentual de plantas acamadas e quebradas (MIRANDA et al., 2003). A resistência do colmo ao quebramento antes da colheita é fundamental para que o potencial produtivo de híbridos possa ser devidamente explorado pelo aumento na população de plantas (SANGOI et al., 2002).

Apesar dos efeitos dos tratamentos sobre a altura de planta e de inserção de espiga no presente trabalho, o percentual de quebramento de planta não foi influenciado pelos fatores considerados em ambos os anos agrícolas (Tabela 18). Os percentuais de plantas quebradas foram considerados baixos mesmo na presença de aplicação de nitrogênio em cobertura, prática esta que pode favorecer o quebramento de planta da cultura quando aplicadas doses excessivas do nutriente. Resultados condizentes foram observados por Shioga, Oliveira e Gerage (2004). Estes pesquisadores avaliaram os efeitos de densidade de semeadura e dose de nitrogênio e verificaram que os percentuais de plantas de milho quebradas não foram elevados, mas somente, para as altas densidades.

É pertinente ressaltar que as próprias características agrônômicas do híbrido utilizado, como ciclo precoce (860 graus-dia), arquitetura foliar semi-ereta, excelente desenvolvimento do sistema radicular, bom “stay green”, alta tolerância ao acamamento (CRUZ; PEREIRA FILHO; SILVA, 2011; DEKALB, 2011) e ausência de ocorrência de doenças de colmo e de condições climáticas adversas, como chuvas e ventos fortes, podem ter contribuído para a obtenção do baixo percentual de quebramento de planta.

4.3.18. Comprimento de espiga

O comprimento médio da espiga é uma das características que pode interferir diretamente no número de grãos por fileira e, conseqüentemente, na

produtividade da cultura do milho. Segundo Fancelli e Dourado Neto (1996), o comprimento de espiga é definido, principalmente, no momento em que as plantas apresentam doze folhas expandidas. Sendo assim, qualquer adversidade que aconteça nessa fase, como o efeito combinado da competição intraespecífica, pode resultar em redução no comprimento das espigas, provocando queda na produtividade da cultura.

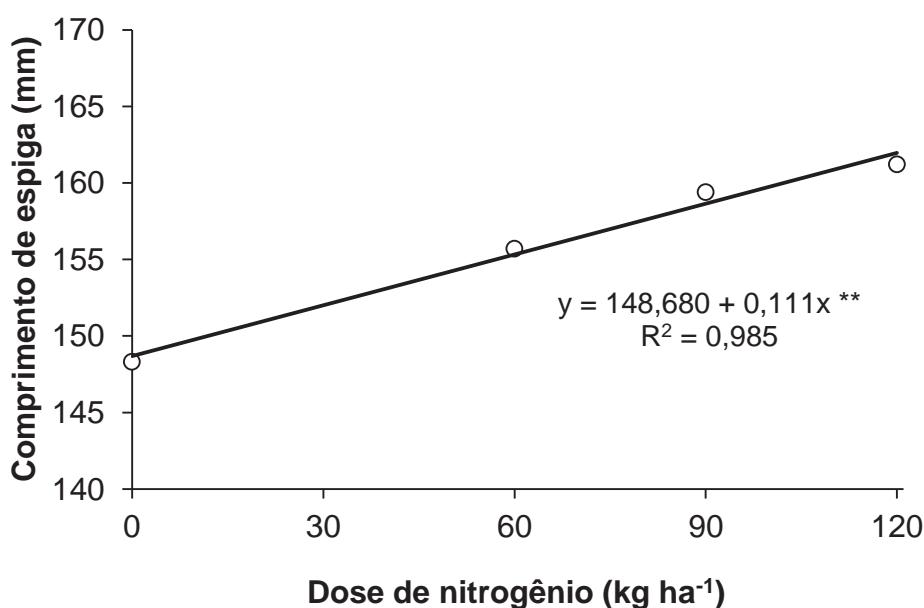
Ao analisar o comprimento de espiga, observa-se que no ano agrícola 2009/10, este componente de produção foi influenciado, isoladamente, por todos os fatores (Tabela 19). Quando a crotalária antecedeu o milho no referido ano agrícola, constatou-se maior comprimento de espiga, apesar de que não tenha ocorrido diferença em relação ao cultivo de milho + crotalária. Tal resposta pode estar relacionada à maior disponibilidade de nitrogênio no solo propiciada pela crotalária (OHLAND et al., 2005; KAPPES, 2011), à sua maior absorção pelas plantas e à menor imobilização do nitrogênio do fertilizante. Com certa discordância dos resultados, Ohland et al. (2005) não verificaram diferença significativa para o comprimento de espiga do híbrido DKB 350 em função das culturas antecessoras ervilhaca peluda e nabo forrageiro e doses de nitrogênio em cobertura do milho (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), assim como para interação entre tais fatores.

Similar ao verificado com o diâmetro de colmo, o manejo do solo com escarificador + “grade leve” e com “grade pesada” + “grade leve” no ano agrícola 2009/10 favoreceu a obtenção de espigas com maior comprimento comparativamente ao sistema plantio direto. Possivelmente, esse resultado está relacionado à menor população de plantas constatada nesses sistemas de manejo do solo (Tabela 12). Infere-se, portanto, que a elevada competição intraespecífica na linha de semeadura por água, luz e nutrientes (DOURADO NETO et al., 2003) no sistema plantio direto, tenha prejudicado a manutenção e a formação da espiga. Os resultados são coerentes com os obtidos por Palhares (2003), Brachtvogel et al. (2009), Vieira et al. (2010) e Kappes et al. (2011a), que evidenciaram progressiva redução no comprimento de espiga em função de elevada população de plantas na cultura do milho. Outra justificativa para o presente resultado pode ser a dinâmica diferenciada de nitrogênio no sistema plantio direto, pois pesquisas têm demonstrado que a maior presença de resíduos orgânicos, na superfície do solo, favorece maior atividade e imobilização do nitrogênio pelos microrganismos (AITA et al., 2001), o que pode comprometer a disponibilidade de nitrogênio para o milho

(AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002), com conseqüente redução do tamanho da espiga.

A elevação na dose de nitrogênio em cobertura resultou em incremento linear do comprimento de espiga no ano agrícola 2009/10 (Figura 28). O maior comprimento de espiga verificado na dose de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, representou, em relação à ausência do nutriente em cobertura, acréscimo de 9%. Soares, Dourado Neto e Manfron (2003) verificaram que a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio no estágio V₅, na forma de ureia, ocasionou aumento médio de 22% no comprimento de espiga em relação aos tratamentos sem a aplicação de nitrogênio.

Figura 28- Comprimento de espiga em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



Avaliando o efeito de culturas antecessoras (aveia preta, trigo, nabo forrageiro, ervilhaca peluda e um tratamento representado pelo pousio de inverno), doses (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio) e fontes de nitrogênio (ureia e sulfato de amônio) nos componentes de produção do milho em sistema plantio direto, Lourente et al. (2007), verificaram apenas influência de dose sobre o comprimento de espiga, em que o máximo comprimento de espiga foi de 181,2 mm com a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura. Em contrapartida, Kappes et al. (2011b) estudando o manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho sob

sistema plantio direto em Selvíria – MS, não constatarem influência de fontes (ureia e sulfato de amônio), épocas de aplicações (V_5 e V_8) e doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹) sobre o comprimento de espiga. Outros pesquisadores também não observaram efeito de dose de nitrogênio sobre o comprimento de espiga do milho (COSTA, 2000; CASAGRANDE; FORNASIERI FILHO, 2002; HEINRICHS et al., 2003; SOUZA et al., 2003).

No ano agrícola 2010/11, o comprimento de espiga foi influenciado, isoladamente, pela cobertura vegetal e dose de nitrogênio e pelas interações entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio e entre manejo do solo e dose de nitrogênio (Tabela 19). Na Tabela 30, em que se tem o desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio, observa-se que na ausência de fornecimento de nitrogênio em cobertura, a utilização de crotalária e de milheto + crotalária ocasionou maior comprimento de espiga, demonstrando novamente os efeitos benéficos para a cultura subsequente, como a maior disponibilidade de nitrogênio no solo propiciada pela crotalária (OHLAND et al., 2005; KAPPES, 2011), à sua maior absorção pelas plantas e menor imobilização do nitrogênio do fertilizante. Contudo, nas demais doses avaliadas (60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio) não houve diferença entre as coberturas vegetais para o comprimento de espiga.

Tabela 30- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para comprimento de espiga de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).

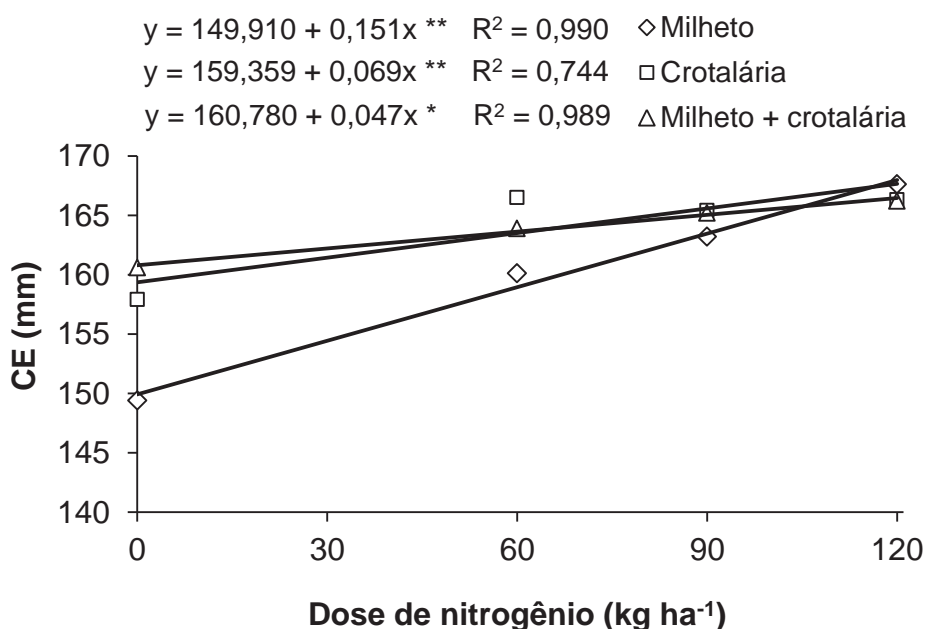
Cobertura vegetal	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)			
	0	60	90	120
	Comprimento de espiga (mm)			
Milheto	149,4 b	160,1 a	163,2 a	167,6 a
Crotalária	157,9 a	166,5 a	165,4 a	166,3 a
Milheto + crotalária	160,6 a	163,9 a	165,2 a	166,2 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ratificando os resultados obtidos por Silva et al. (2006a), Lourente et al. (2007) e Santos et al. (2010c), o comprimento de espiga foi maior à medida que se incrementou a dose de nitrogênio após as três coberturas vegetais (Figura 29). Os maiores valores de comprimento de espiga verificados na dose de 120 kg ha⁻¹ de

nitrogênio, representaram, em relação à ausência da aplicação do nutriente em cobertura, incrementos de 12 e 3% quando as culturas antecessoras foram o milho e o consórcio milho + crotalária, respectivamente. Na presença da antecessora crotalária, o maior valor de comprimento de espiga foi observado na dose de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, representando em relação à ausência do nutriente em cobertura, acréscimo de 5%. O maior percentual de aumento no comprimento de espiga verificado entre a ausência de nitrogênio em cobertura e a aplicação de 120 kg ha⁻¹ do nutriente quando o milho foi a cultura antecessora (12%), permite afirmar que em tal condição, o milho se torna mais responsivo à aplicação de nitrogênio comparativamente com as fabáceas, fato explicado pela maior relação C/N do milho, alto teor de lignina de seus resíduos e à maior imobilização do nitrogênio aplicado, pela microbiota do solo, para a decomposição dos resíduos (SALTON; KICHEL, 1998; ALVA et al., 2006) e também, pela maior imobilização do nitrogênio do solo.

Figura 29- Comprimento de espiga (CE) em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** e * – significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.



Porém, a mineralização dos resíduos culturais para as condições de Cerrado, ambiente de produção em que estes experimentos foram conduzidos, é muito rápida, o que provocaria uma imobilização do nitrogênio do fertilizante por um

menor período de tempo em relação às condições encontradas nos Estados do Sul do Brasil, podendo o processo de imobilização não ser tão determinante na carência de nitrogênio no momento pós-semeadura do milho na região do Cerrado (LANGE, 2006).

Embora tenha ocorrido ajuste de regressão linear das médias de comprimento de espiga quando as antecessoras foram a crotalária e o milho + crotalária, pode-se inferir que nesse sistema, a dependência da cultura do milho ao fornecimento de nitrogênio mineral é relativamente menor quando comparada ao milho antecedente, fato que pode ser sustentado pela menor intensidade de resposta da cultura e conseqüentemente, aos menores percentuais de incrementos obtidos com a aplicação de nitrogênio em cobertura em tais condições.

O desdobramento da interação entre manejo do solo e dose de nitrogênio está inserido na Tabela 31. Quando não se aplicou nitrogênio em cobertura, o sistema plantio direto proporcionou maior comprimento de espiga comparativamente aos sistemas com revolvimento do solo, evidenciando os benefícios desse sistema à cultura. Entretanto, para as demais doses avaliadas (60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio), o efeito benéfico do sistema plantio direto não foi evidente e não se obteve diferença entre os sistemas de manejo do solo para o comprimento de espiga.

Tabela 31- Desdobramento da interação entre manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura para comprimento de espiga de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).

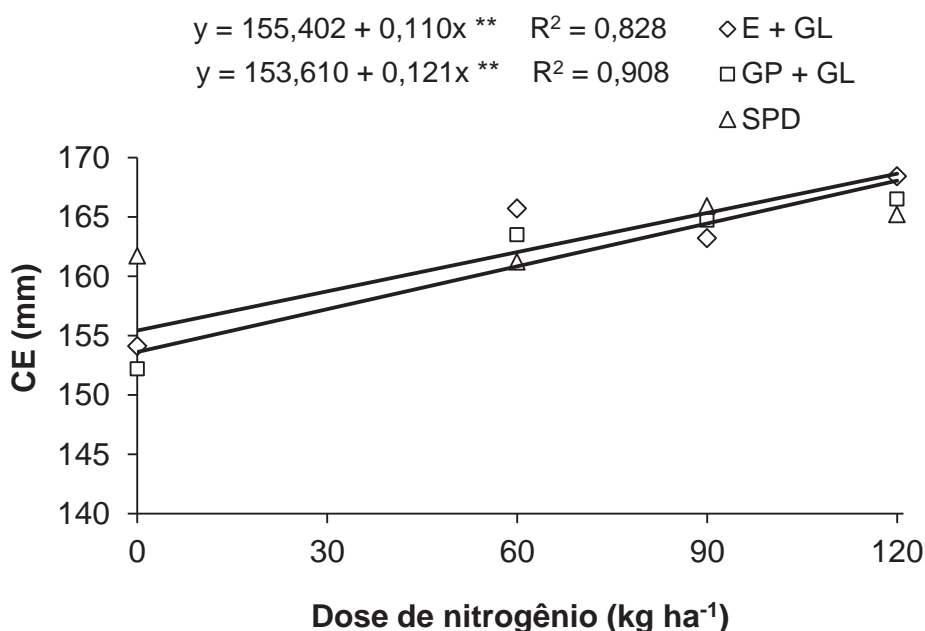
Manejo do solo ⁽¹⁾	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)			
	0	60	90	120
	Comprimento de espiga (mm)			
E + GL	154,1 b	165,7 a	163,2 a	168,4 a
GP + GL	152,2 b	163,5 a	164,7 a	166,5 a
SPD	161,7 a	161,2 a	165,9 a	165,2 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.

Houve aumento linear do comprimento de espiga em função da dose crescente de nitrogênio após os manejos do solo, exceto para o sistema plantio direto em que não se teve ajuste de regressão significativa (Figura 30). A ausência

de resposta no sistema plantio direto à aplicação de nitrogênio em cobertura, para a referida característica produtiva, demonstra novamente os benefícios desse sistema, além do potencial que o sistema apresenta no fornecimento de nitrogênio à cultura. Os maiores valores de comprimento de espiga verificados na dose de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, representaram, em relação à ausência da aplicação do nutriente em cobertura, incremento de 9% quando o solo foi manejado com escarificador + “grade leve” e “grade pesada” + “grade leve”.

Figura 30- Comprimento de espiga (CE) em função de manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade. Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto.



A constatação de resposta linear do comprimento de espiga a aplicação de dose crescente de nitrogênio em cobertura na presença dos manejos com revolvimento do solo pode ser atribuída à rápida mineralização dos resíduos vegetais propiciada pelo revolvimento.

4.3.19. Diâmetro de espiga

O diâmetro de espiga, característica produtiva que está estreitamente relacionada com enchimento de grãos e número de fileiras de grãos por espiga, e também influenciada pelo genótipo (OHLAND et al., 2005), no presente estudo, foi influenciada pela dose de nitrogênio nos anos agrícolas 2009/10 e 2010/11, independente de cobertura vegetal e manejo do solo (Tabela 19). Com certa similaridade, os resultados corroboram com os obtidos por Lourente et al. (2007), os quais avaliaram os efeitos de culturas antecessoras, doses e fontes de nitrogênio e ao término da pesquisa, constataram apenas influência de dose sobre o referido componente produtivo, em que a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura proporcionou o máximo diâmetro de espiga, que foi de 46,5 mm, semelhante as médias obtidas no presente estudo. Por outro lado, Ohland et al. (2005) verificaram diferença significativa entre as culturas antecessoras ao cultivo do milho de primeira safra. Os referidos pesquisadores relataram que independente da dose de nitrogênio aplicada em cobertura (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), o milho semeado após a ervilhaca peluda teve o seu diâmetro de espiga incrementado significativamente, diferindo da sucessão nabo forrageiro/milho.

Verifica-se que o aumento na dose de nitrogênio em cobertura proporcionou acréscimo linear no diâmetro de espiga em ambos os anos agrícolas (Figuras 31 e 32), discordando, em parte, dos resultados obtidos por Ohland et al. (2005), que, ao avaliarem o efeito de coberturas vegetais e níveis crescentes de adubação nitrogenada em superfície, não verificaram diferença para o diâmetro de espiga do milho cultivado no sistema plantio direto. Os pesquisadores relataram, ainda, que o diâmetro de espiga está estreitamente relacionado com o enchimento de grãos e o número de fileiras de grãos por espiga, que também é influenciado pelo genótipo. Diversos pesquisadores constataram aumento do diâmetro de espiga em resposta as doses crescentes de nitrogênio em cobertura na cultura do milho, dentre eles, Santos et al. (2010c) e Kappes et al. (2011b).

No ano agrícola 2009/10, o maior diâmetro de espiga verificado na dose de 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio representou, em relação à ausência da aplicação do nutriente em cobertura, acréscimo de 2% (Figura 31). O maior diâmetro de espiga

obtido com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de nitrogênio no ano agrícola 2010/11 representou, em relação à ausência do nutriente em cobertura, acréscimo de 3% (Figura 32), semelhante ao percentual de incremento constatado por Kappes et al. (2011b), que foi de 3%, entre a testemunha e a aplicação 150 kg ha^{-1} de nitrogênio.

Figura 31- Diâmetro de espiga em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.

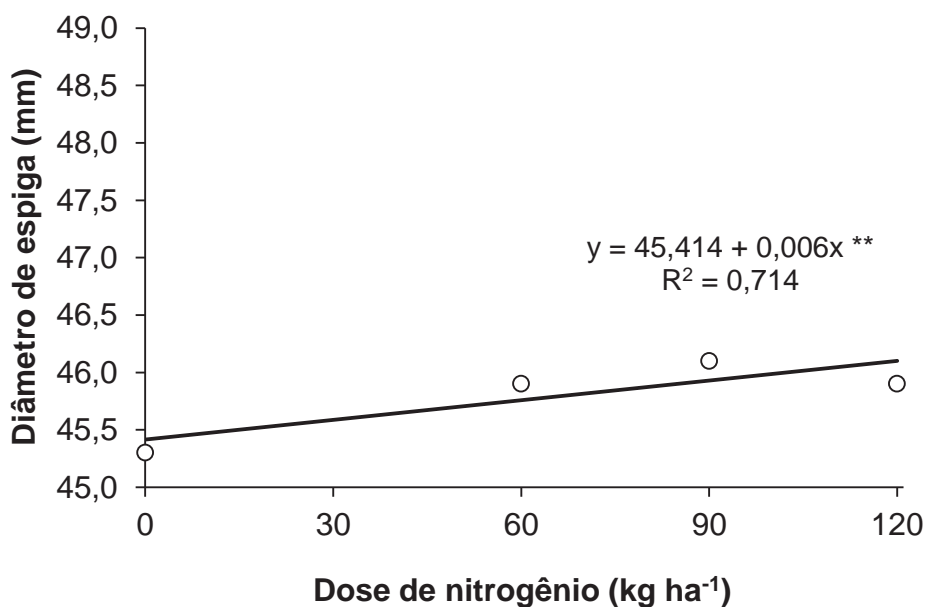
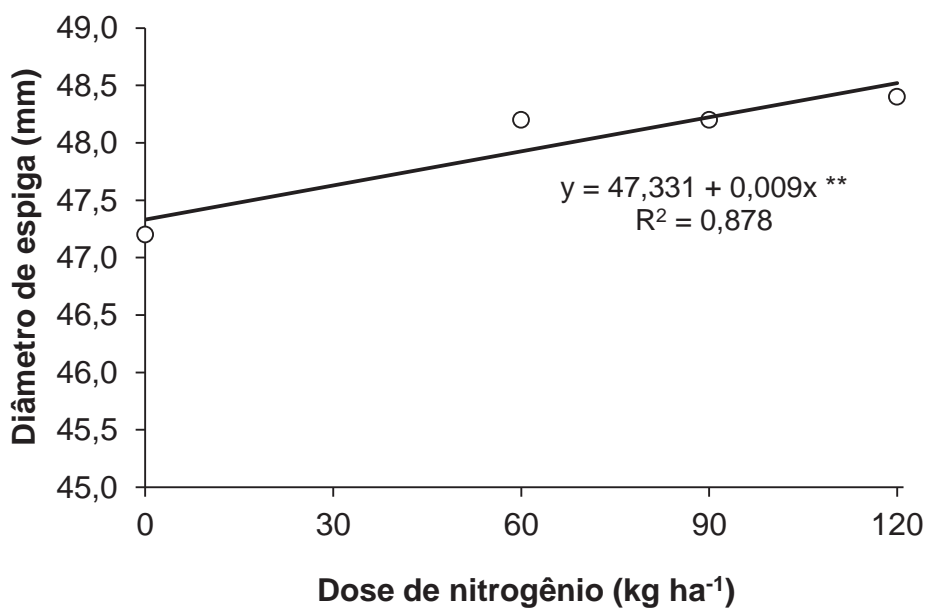


Figura 32- Diâmetro de espiga em função de dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



A resposta linear do diâmetro de espiga quanto à alteração da dose de nitrogênio, em ambos os anos agrícolas, contradiz resultados constatados por outros pesquisadores, dentre eles Costa (2000) e Heinrichs et al. (2003), os quais não verificaram alteração dessa característica produtiva em função de diferentes doses de nitrogênio em cobertura.

4.3.20. Número de fileiras de grãos por espiga

Em ambos os anos agrícolas, o número de fileiras de grãos por espiga não foi afetado pela cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio (Tabela 19). Os resultados mostraram-se condizentes aos obtidos por Costa (2000), Fernandes e Buzetti (2005) e outros pesquisadores: Casagrande e Fornasieri Filho (2002) estudaram a influência de doses (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio) e de modos de aplicação de nitrogênio (todo o nitrogênio na semeadura e todo o nitrogênio no estágio V₅ a V₆), na forma de ureia, em dois híbridos de milho (C333B e C444), e ao término da pesquisa, não constataram diferenças entre as doses e modos de aplicação de nitrogênio para esta característica agronômica, mas apenas para o fator híbrido; Cavallet et al. (2000) avaliaram os efeitos da aplicação da ureia em cobertura (70 kg ha⁻¹ de nitrogênio) no milho de primeira safra, com e sem aplicação, e verificaram que o número de fileiras de grãos por espiga não foi influenciado, apresentando valor médio de 14 fileiras, semelhante às médias obtidas no presente estudo em ambos os anos agrícolas.

A ausência de resposta do número de fileiras de grãos por espiga aos fatores considerados neste estudo demonstra que tal característica produtiva pode estar mais relacionada ao fator genótipo do que práticas de manejo utilizadas na cultura. A não significância encontrada para o fator dose, por exemplo, permite concluir, ainda, que o aumento da quantidade de nitrogênio fornecido via adubação de cobertura, não foi eficiente agronomicamente em aumentar o número de fileiras de grãos por espiga.

4.3.21. Massa de mil grãos

A massa individual do grão é importante componente de produção, pois, a partir de um mesmo número de óvulos fecundados, pode-se obter maior produtividade apenas com o aumento das reservas acumuladas nos grãos. A massa de grãos é o último componente a ser definido, a qual é determinada pela taxa e pela duração do período de enchimento de grãos (WANG; KANG; MORENO, 1999). Segundo Ohland et al. (2005), a massa de grãos é uma característica influenciada pelo genótipo, pela disponibilidade de nutrientes e pelas condições climáticas durante os estádios de enchimento dos grãos.

Independente de manejo do solo, no ano agrícola 2009/10 do presente estudo, a massa de mil grãos foi influenciada, isoladamente, pela cobertura vegetal e dose de nitrogênio, ocorrendo interação entre estes fatores (Tabela 20). O desdobramento desta interação está apresentado na Tabela 32. Verifica-se que, exceto na aplicação de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, para as demais doses, o cultivo de crotalária e de milho + crotalária propiciou maior massa de mil grãos, comprovando novamente, os efeitos benéficos da crotalária (OHLAND et al., 2005; KAPPES, 2011) e ratificando os resultados obtidos por Silva et al. (2006b) e Silva et al. (2009a), em que a massa de mil grãos foi superior no milho cultivado após a *Crotalaria juncea*, quando comparado ao cultivado após milho e solo em pousio.

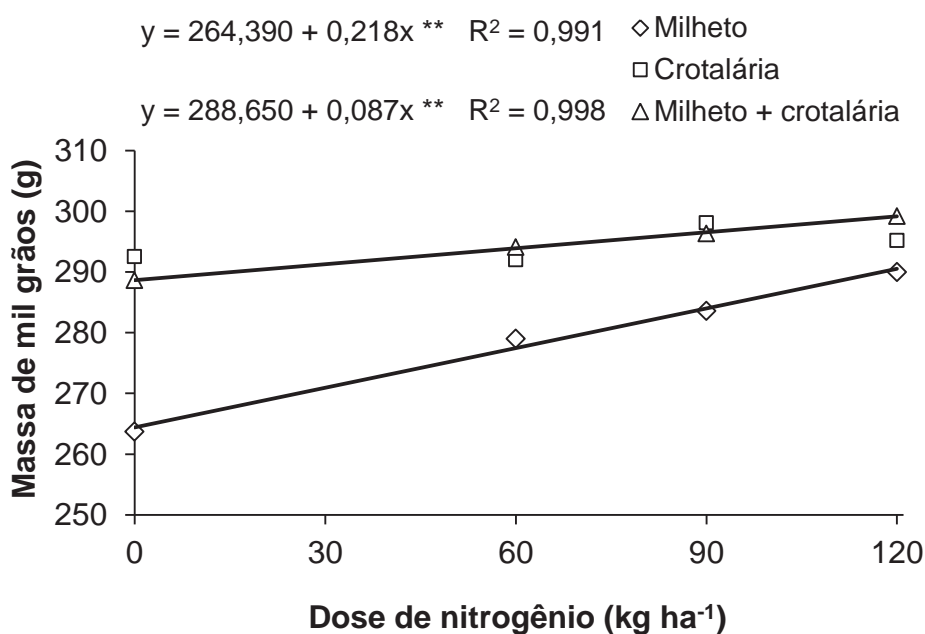
Tabela 32- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para massa de mil grãos de milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10).

Cobertura vegetal	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)			
	0	60	90	120
	Massa de mil grãos (g)⁽¹⁾			
Milho	263,7 b	279,0 b	283,6 b	290,0 a
Crotalária	292,5 a	292,0 a	298,1 a	295,2 a
Milho + crotalária	288,6 a	294,1 a	296,3 a	299,2 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ Com base em 13% de umidade nos grãos (b.u.).

A massa de mil grãos, no referido ano de cultivo, aumentou linearmente com a elevação da dose de nitrogênio quando as culturas antecessoras foram o milho e o milho + crotalária (Figura 33). Resultados semelhantes foram obtidos por Ferreira et al. (2001), Amaral Filho et al. (2005), Fernandes e Buzetti (2005), Silva et al. (2006a), Silva et al. (2006b), Lana et al. (2009), Santos et al. (2010c) e Kappes et al. (2011b), os quais verificaram aumento na massa de grãos do milho com o incremento na dose de nitrogênio em cobertura. Não obstante, o aumento da massa de grãos proporcionado pela aplicação de nitrogênio confirma o relato de Büll (1993), ao mencionar a influência da adubação nitrogenada no incremento dessa característica produtiva. Os maiores valores de massa de mil grãos neste estudo, constatados com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de nitrogênio, representaram, em relação à ausência do nutriente em cobertura, incrementos de 10 e 4% quando as culturas antecessoras foram, respectivamente, o milho e o milho + crotalária. Ohland et al. (2005) relataram incremento de 8% na massa de mil grãos de milho com a aplicação de 150 kg ha^{-1} de nitrogênio em relação ao tratamento que não recebeu o nutriente em cobertura.

Figura 33- Massa de mil grãos em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



No ano agrícola 2010/11, a massa de mil grãos foi influenciada, isoladamente, por todos os fatores e pelas interações entre cobertura vegetal e manejo do solo e entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio (Tabela 20). Constata-se, na Tabela 33, em que se tem o desdobramento da interação entre cobertura vegetal e manejo do solo, que nos três manejos, maior massa de mil grãos foi obtida com o cultivo de crotalária e de milho + crotalária, apesar de que no manejo com escarificador + “grade leve”, não se tenha obtido diferença entre milho + crotalária e milho. Estes resultados corroboram, novamente, com obtidos por Silva et al. (2006b) e Silva et al. (2009a), em que a massa de mil grãos foi superior no milho cultivado após a *Crotalaria juncea*, quando comparado ao cultivado após milho e solo em pousio.

Por outro lado, nas três coberturas, o sistema plantio direto favoreceu maior massa de mil grãos, embora não tenha ocorrido diferença em comparação ao manejo do solo com escarificador + “grade leve” quando as antecessoras foram o milho e crotalária. Carvalho et al. (2004) constataram maior valor para a massa de grãos no manejo do solo com “grade pesada” quando comparado ao sistema plantio direto. Kaneko et al. (2010) verificaram maior massa de grãos quando o milho foi cultivado em solo manejado com escarificador + “grade leve” e com “grade pesada” + “grade leve” comparativamente ao sistema plantio direto, contrariando dessa forma, os resultados aqui apresentados.

Tabela 33- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e manejo do solo para massa de mil grãos de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).

Cobertura vegetal	Manejo do solo ⁽¹⁾		
	E + GL	GP + GL	SPD
	Massa de mil grãos (g) ⁽²⁾		
Milho	282,4 bAB	275,4 bB	285,7 bA
Crotalária	295,1 a AB	287,2 a B	302,9 a A
Milho + crotalária	290,0 ab B	296,3 a B	306,8 a A

Médias seguidas por mesma letra minúscula nas colunas e por mesma letra maiúscula nas linhas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto. ⁽²⁾ Com base em 13% de umidade nos grãos (b.u.).

O desdobramento referente à interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio, no ano agrícola 2010/11, está apresentado na Tabela 34. Na ausência de fornecimento de nitrogênio em cobertura e na aplicação de 60 kg ha⁻¹ do nutriente, o cultivo de crotalária e de milho + crotalária antecedendo o milho, resultou em maior massa de mil grãos da cultura. Quando se aplicou 90 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, não se obteve diferença entre as coberturas vegetais para a massa de mil grãos.

Tabela 34- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para massa de mil grãos de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).

Cobertura vegetal	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)			
	0	60	90	120
	Massa de mil grãos (g)⁽¹⁾			
Milheto	267,9 b	279,8 b	287,0 a	290,0 a
Crotalária	292,8 a	299,3 a	296,0 a	292,3 a
Milheto + crotalária	296,7 a	294,1 a	298,4 a	301,7 a

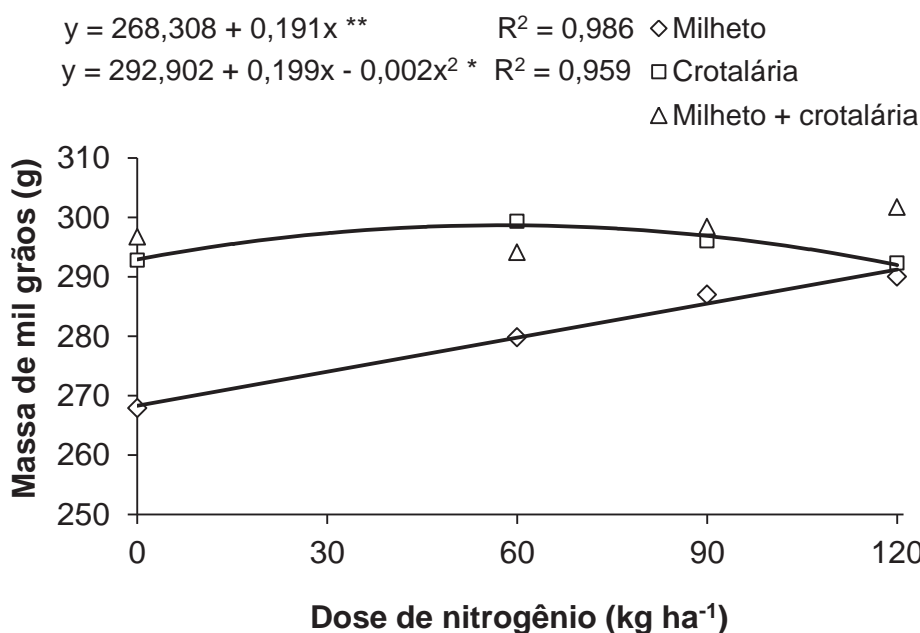
Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ Com base em 13% de umidade nos grãos (b.u.).

O incremento na dose de nitrogênio, no referido ano de cultivo, ocasionou aumento linear da massa de mil grãos quando a cultura antecessora foi o milho, ratificando novamente e em parte, os resultados de Ferreira et al. (2001), Amaral Filho et al. (2005), Fernandes e Buzetti (2005), Silva et al. (2006a), Silva et al. (2006b), Lana et al. (2009), Santos et al. (2010c) e Kappes et al. (2011b). O efeito linear observado pode ser atribuído à alta relação C/N e alto teor de lignina de seus resíduos e à maior imobilização do nitrogênio aplicado, pela microbiota do solo, para a decomposição dos resíduos (SALTON; KICHEL, 1998; ALVA et al., 2006) e à maior imobilização do nitrogênio do solo, com conseqüente redução da disponibilidade do nutriente, tornando o milho responsivo à aplicação de nitrogênio nesta condição. O maior valor de massa de mil grãos neste estudo, constatado com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, representou, em relação à ausência do nutriente em cobertura, incremento de 8% quando a cultura antecessora foi o milho, ratificando o percentual obtido por Ohland et al. (2005).

Porém, quando a cultura antecessora foi a crotalária, houve comportamento quadrático da massa de mil grãos em resposta ao aumento na dose de nitrogênio,

demonstrando que nesta situação, a exigência de dose elevada do nutriente em cobertura é menor, em detrimento ao aporte de nitrogênio proporcionado pela crotalária. Perante equação da curva de resposta foi estimada a massa de mil grãos máxima em 298,0 g com a aplicação da dose de máxima eficiência técnica de 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio, diferente de Heinrichs et al. (2003), os quais constataram o valor máximo da massa de mil grãos com a aplicação de 118 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura do milho.

Figura 34- Massa de mil grãos em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** e * – significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.



Estimou-se, perante equação de regressão, que quando a cultura antecessora foi o milho, a aplicação de 128,2 kg ha⁻¹ de nitrogênio para propiciar a mesma massa de mil grãos do que quando a cultura antecessora foi a crotalária na ausência do nutriente em cobertura no ano agrícola 2010/11, devido, possivelmente, à imobilização do nitrogênio aplicado e do solo durante a decomposição dos resíduos do milho.

O fato de a massa de mil grãos ter sido influenciada pela cobertura vegetal, manejo do solo e dose de nitrogênio em cobertura contraria Andrade, Otegui e Vega (2000), Borrás e Otegui (2001) e Sangoi et al. (2002), os quais relataram que esse é o componente de produção menos afetado por variações nas práticas de manejo da

cultura do milho. Diversos pesquisadores, entretanto, não constataram aumento na massa de grãos do milho em razão da alteração da dose de nitrogênio em cobertura (ESCOSTEGUY; RIZZARDI; ARGENTA, 1996; SILVA; OLIVEIRA; SILVA, 2003; SOUZA; SORATTO, 2006; GOMES et al., 2007).

Os valores médios de massa de mil grãos, 289,4 e 291,3 g nos anos agrícolas 2009/10 e 2010/11, respectivamente (Tabela 20), ou seja, 289,4 e 291,3 mg por grão, são coerentes com os relatos de Paes (2008). O pesquisador relata que a massa individual do grão de milho varia, em média, de 250 a 300 mg, sendo a composição média de 72% de amido, 9,5% de proteínas, 9% de fibra e 4% de óleo. Os valores médios situaram-se relativamente abaixo dos obtidos por Ohland et al. (2005) e Silva et al. (2006a), os quais utilizaram o mesmo híbrido testado neste estudo, em sistema plantio direto e, relataram massa de mil grãos de 353 g em sucessão à ervilhaca peluda e de 366,0 g após aveia preta, respectivamente.

É oportuno ressaltar que no presente estudo, o secamento das folhas inferiores, assim como das palhas das espigas, foi ligeiramente retardado pelo aumento da dose de nitrogênio. Diante disso, acredita-se que o incremento da massa de mil grãos em função do aumento na dose de nitrogênio pode ter sido determinada, principalmente, pela diferença ocorrida no período efetivo de enchimento dos grãos, pois a formação de grãos na cultura do milho está estreitamente relacionada com a translocação de açúcares e de nitrogênio de órgãos vegetativos, principalmente das folhas para os grãos (KARLEN; FLANNERY; SADLER, 1988). Portanto, pode-se deduzir que nos tratamentos que receberam aplicações de maiores doses de nitrogênio, as plantas ficaram verdes por maior período de tempo, prolongando a taxa e a fase de translocação de açúcares (WANG; KANG; MORENO, 1999) e nitrogênio para os grãos e, conseqüentemente, aumentando sua massa final. Evidencia-se, ainda, a alta dependência da massa de grãos da absorção de nitrogênio pelo milho, a qual alcança um pico durante o período compreendido entre o início do florescimento e o início da formação de grãos, conforme ressaltaram Ulger, Becker e Khant (1995). De acordo com estes pesquisadores, a deficiência de nitrogênio, neste período, pode concorrer para a formação de grãos com menor massa específica, devido à não translocação em quantidades adequadas para os mesmos. Constatações similares foram mencionadas por Ferreira et al. (2001) ao estudarem os efeitos da adubação nitrogenada em cobertura do milho.

4.3.22. Produtividade

No ano agrícola 2009/10 do presente estudo, a produtividade foi influenciada, isoladamente, pela cobertura vegetal e dose de nitrogênio, independente de manejo do solo, verificando-se interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio (Tabela 20). O desdobramento referente à interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio está apresentado na Tabela 35. A crotalária e o milho + crotalária proporcionaram maior produtividade de milho em todas as doses, excetuando-se a dose de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, em que não se obteve diferença entre as coberturas vegetais. Quando não se aplicou nitrogênio em cobertura, a crotalária incrementou a produtividade de milho em 31%, comparativamente ao milho, fato que demonstra o maior aporte de nitrogênio no solo propiciado pela crotalária, através da fixação biológica do nitrogênio atmosférico (OHLAND et al., 2005; KAPPES, 2011). Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2006b) e por Silva et al. (2009a), os quais verificaram maior produtividade de milho cultivado sobre resíduos de *Crotalaria juncea* em relação aos de milho.

A menor produtividade após o milho, no presente estudo, pode ser atribuída à alta relação C/N de seus resíduos e à maior imobilização do nitrogênio aplicado, pela microbiota do solo, para a decomposição dos resíduos (SALTON; KICHEL, 1998; ALVA et al., 2006) e também, pela maior imobilização do nitrogênio do solo, que geralmente, se constitui na principal fonte de nutriente para as culturas (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002). Da mesma forma, pode ter ocorrido reimobilização do próprio nitrogênio mineralizado do milho. Assim, todos esses fatores, possivelmente, condicionaram um assincronismo entre a época de demanda de nitrogênio pela planta e a disponibilidade do nutriente na solução do solo. Portanto, grande parte do nitrogênio mineralizado dos resíduos vegetais pode ter sido incorporado ao nitrogênio orgânico do solo. Em consequência desses possíveis fatores, sugere-se que houve redução da disponibilidade do nutriente para o milho, tornando fundamental o fornecimento de nitrogênio mineral e a elevação na dose do nutriente em cobertura para obtenção de altas produtividades, conforme também evidenciado por Lourente et al. (2007). Além disso, a produtividade potencial do

milho, ou seja, os componentes de produção como número de fileiras de grãos por espiga e tamanho da espiga são definidos nos estádios de quatro a seis folhas expandidas e necessitam, nessas fases, de suprimento adequado de nitrogênio. Nessas fases, a deficiência de nitrogênio reduz o número de óvulos nos primórdios da espiga (SCHREIBER; STANBERRY; TUCKER, 1988). Constatações similares foram relatadas por Silva et al. (2006b), ao estudarem o manejo do nitrogênio na cultura do milho.

Tabela 35- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para produtividade de milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10).

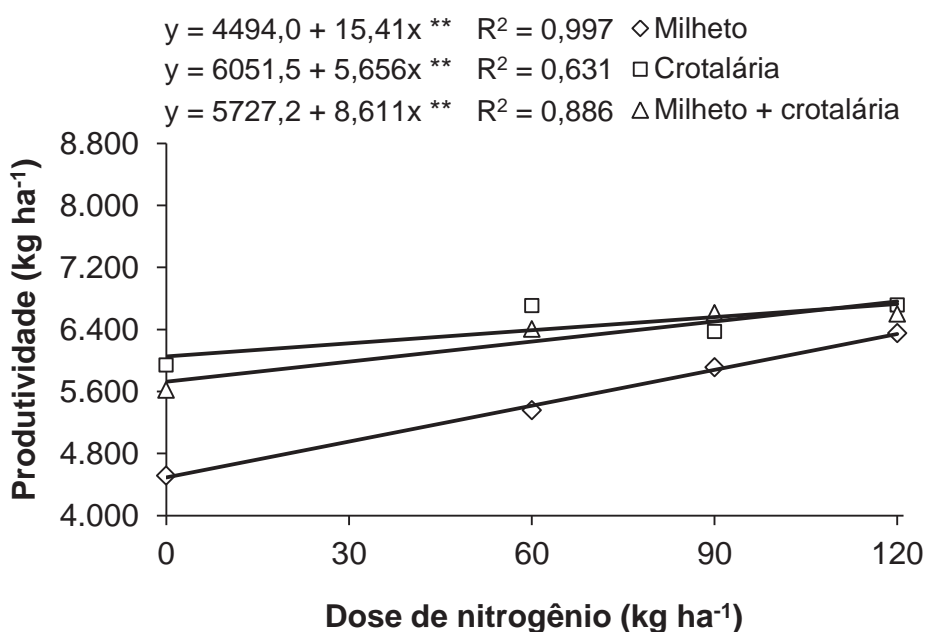
Cobertura vegetal	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)			
	0	60	90	120
	Produtividade (kg ha ⁻¹) ⁽¹⁾			
Milheto	4.516 b	5.359 b	5.913 b	6.350 a
Crotalária	5.941 a	6.706 a	6.372 a	6.714 a
Milheto + crotalária	5.620 a	6.404 a	6.611 a	6.599 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ Com base em 13% de umidade nos grãos (b.u.).

Os dados obtidos para produtividade de milho, semeado após as coberturas vegetais no ano agrícola 2009/10, não se ajustaram às funções quadráticas em razão das doses de nitrogênio testadas. Obteve-se incremento linear da produtividade à medida que se elevou a dose de nitrogênio (Figura 35), não concordando com os resultados observados por Souza et al. (2003), os quais não relataram resposta na produtividade de milho à aplicação de 0 a 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura. Neste estudo, constata-se que quando o milheto foi a cultura antecessora, o milho teve sua produtividade incrementada em 15,4 kg ha⁻¹ para cada kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicado em cobertura, sendo portanto, considerado mais responsivo ao nitrogênio em relação às antecessoras crotalária e milheto + crotalária. Perante essa evidência, pode-se inferir que as doses de nitrogênio testadas foram ineficientes para incrementar a produtividade de milho quando a crotalária e o milheto + crotalária foram cultivadas como antecessoras, devido ao maior aporte de nitrogênio no solo propiciado pela crotalária. Por outro lado, confirma que o uso de doses crescentes de nitrogênio pode ser um fator primordial

para alcançar altas produtividades de milho, independente da cultura antecessora. Em cinco dos quatro híbridos de milho avaliados, Cruz et al. (2008b) também verificaram aumento linear de produtividade em função do incremento na dose de nitrogênio em cobertura quando a *Crotalaria juncea* antecedeu o cultivo do milho.

Figura 35- Produtividade em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2009/10). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



Embora o milho cultivado em sucessão ao milheto tenha demandado a maior dose de nitrogênio para atingir a máxima eficiência técnica, foi o sistema que proporcionou a menor produtividade, ao contrário da crotalária, que proporcionou maior produtividade com uma menor dose de nitrogênio. Perante equação de regressão (Figura 35), estimou-se, quando a cultura antecessora foi o milheto, a aplicação de 93,9 kg ha⁻¹ de nitrogênio para propiciar a mesma produtividade de milho do que quando a cultura antecessora foi a crotalária na ausência do nutriente em cobertura, devido, possivelmente, à imobilização do nitrogênio aplicado e do solo durante a decomposição dos resíduos do milheto.

No ano agrícola 2010/11, a produtividade de milho foi influenciada, isoladamente, pela cobertura vegetal e dose de nitrogênio e pelas interações entre cobertura vegetal e manejo do solo e entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio (Tabela 20). Na análise do desdobramento da interação entre cobertura vegetal e

manejo do solo (Tabela 36), verifica-se que o cultivo de crotalária e de milho + crotalária proporcionou maior produtividade nos três manejos, exceto quando se manejou o solo com escarificador + “grade leve”, em que não se constatou diferença entre milho + crotalária e milho, resultado semelhante ao constatado com a massa de mil grãos no referido ano de cultivo. Destaca-se que o resultado evidenciado no sistema plantio direto difere dos obtidos por Sousa Neto et al. (2008), os quais não observaram diferença de produtividade de milho, cultivado nesse sistema, após *Crotalaria juncea* e milho.

Tabela 36- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e manejo do solo para produtividade de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).

Cobertura vegetal	Manejo do solo ⁽¹⁾		
	E + GL	GP + GL	SPD
	Produtividade (kg ha ⁻¹) ⁽²⁾		
Milho	6.815 bA	6.953 bA	6.773 bA
Crotalária	7.885 a A	7.813 a A	8.207 a A
Milho + crotalária	7.278 ab B	7.847 a AB	8.295 a A

Médias seguidas por mesma letra minúscula nas colunas e por mesma letra maiúscula nas linhas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ Legenda: E + GL – manejo com escarificador + “grade leve”; GP + GL – manejo com “grade pesada” + “grade leve”; SPD – sistema plantio direto. ⁽²⁾ Com base em 13% de umidade nos grãos (b.u.).

Na comparação de manejo do solo dentro de cada cobertura vegetal, nota-se diferença somente quando o milho + crotalária antecedeu o cultivo do milho, obtendo-se maior produtividade no sistema plantio direto, apesar de não ter ocorrido diferença entre esse sistema e o manejo com “grade pesada” + “grade leve”. Na cultura do milho, os resultados referentes aos diferentes manejos do solo são bastante diferenciados. Maiores produtividades de milho no sistema plantio direto, em relação a sistemas de manejo com revolvimento do solo, foram mencionadas por Possamai, Souza e Galvão (2001), Santos, Tomm e Kochhann (2003), Arf et al. (2007) e Kaneko et al. (2010) e; menor produtividade, por Carvalho et al. (2004). Kluthcouski et al. (2000), estudando o efeito do manejo do solo na produtividade de milho, em Latossolo Roxo, no Estado de Goiás, não verificaram diferença significativa entre o sistema plantio direto e o manejo com “grade pesada”.

Na Tabela 37, está inserido o desdobramento referente à interação entre

cobertura vegetal e dose de nitrogênio, no ano agrícola 2010/11. Assim como verificado no primeiro ano de cultivo, a utilização de crotalária e de milho + crotalária como antecessoras proporcionaram maior produtividade de milho em todas as doses, exceto na aplicação de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, em que não se obteve diferença entre as coberturas vegetais. O cultivo de crotalária, na ausência da aplicação de nitrogênio em cobertura, incrementou a produtividade de milho em 41%, comparativamente ao milho, fato que demonstra novamente, o maior aporte de nitrogênio no solo propiciado pela crotalária, através da fixação biológica do nitrogênio atmosférico (OHLAND et al., 2005; KAPPES, 2011). De maneira coerente, Santos et al. (2010c) constataram incremento de 52% na produtividade do milho cultivado em sucessão à *Crotalaria juncea*, em relação à área de pousio, sem a presença da adubação nitrogenada em cobertura. Carvalho et al. (2004) verificaram incremento de 18% na produtividade do milho cultivado sob resíduos de *Crotalaria juncea* em relação ao tratamento pousio. Com estes resultados, fica nítido o benefício da crotalária como cultura antecessora ao milho, principalmente em solos com baixos teores de matéria orgânica, como visto no presente trabalho (SOUSA; LOBATO, 2004) (Tabelas 2 e 3).

Tabela 37- Desdobramento da interação entre cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura para produtividade de milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11).

Cobertura vegetal	Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹)			
	0	60	90	120
	Produtividade (kg ha ⁻¹) ⁽¹⁾			
Milho	5.217 b	6.828 b	7.324 b	8.019 a
Crotalária	7.355 a	7.957 a	8.187 a	8.375 a
Milho + crotalária	6.905 a	7.733 a	8.158 a	8.431 a

Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ Com base em 13% de umidade nos grãos (b.u.).

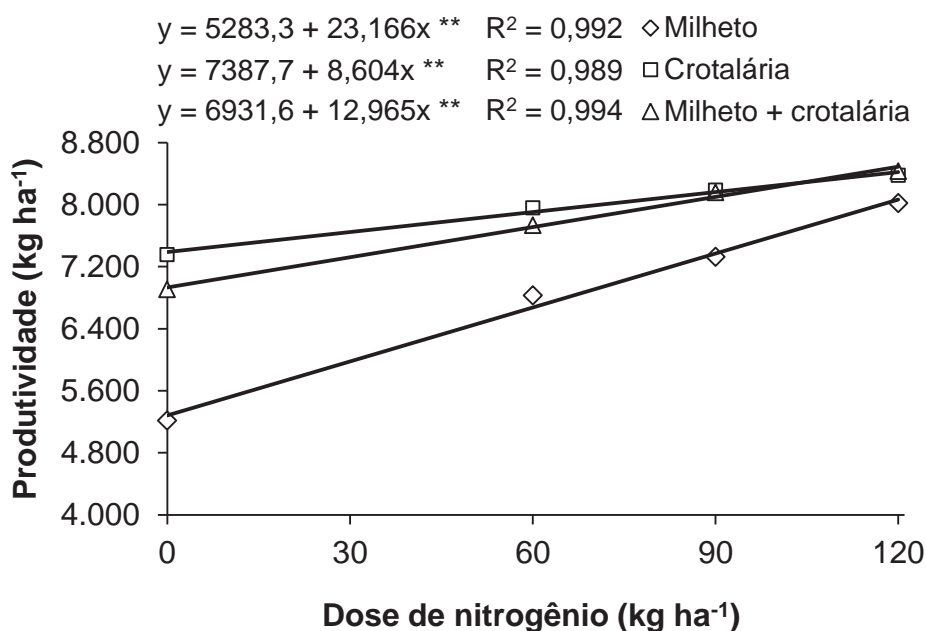
As maiores produtividades do milho cultivado em sucessão à crotalária e ao milho + crotalária, seguramente ocorreram, em razão do maior e mais regular fornecimento de nitrogênio por esta fabácea, em virtude de sua menor C/N favorecer a maior mineralização e menor imobilização de nitrogênio mineral, comparado aos resíduos do milho, evidência também mencionada por Silva et al. (2006b).

Ademais, o maior aporte de nitrogênio pela crotalária pode ter favorecido maior desenvolvimento do sistema radicular (SCIVITTARO et al., 2000), contribuindo para o maior aproveitamento de água e nutrientes do solo e em maior mineralização do nitrogênio orgânico do solo, e também, a maior oferta de outros nutrientes que, certamente, foram mineralizados junto com o nitrogênio.

O milho semeado após as coberturas vegetais, no ano agrícola 2010/11, não atingiu produtividade máxima para as doses de nitrogênio testadas. Verifica-se incremento linear da produtividade à medida que se elevou a dose de nitrogênio (Figura 36), corroborando com os resultados de Cruz et al. (2008b) e discordando dos de Souza et al. (2003). Constata-se, neste estudo, que quando o milho foi a cultura antecessora, o milho teve sua produtividade incrementada em $23,1 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada kg ha^{-1} de nitrogênio aplicado em cobertura, sendo considerado novamente, mais responsivo ao nitrogênio em relação às antecessoras crotalária e milho + crotalária. Esse resultado pode ser atribuído à menor quantidade de nitrogênio acumulada na massa seca do milho (Tabela 16), ao mesmo tempo em que demonstra, a grande quantidade de nitrogênio exigida pelo milho para se obter elevada produtividade e que as maiores respostas são esperadas quando, concomitantemente, se eleva a dose de nitrogênio em cobertura, independente da cultura antecessora.

Novamente, apesar de que o milho cultivado em sucessão ao milho tenha demandado a maior dose de nitrogênio para atingir a máxima eficiência técnica, foi o sistema que proporcionou a menor produtividade, ao contrário da crotalária, que proporcionou maior produtividade com uma menor dose de nitrogênio. Desse modo, estimou-se, perante equação de regressão (Figura 36), quando a cultura antecessora foi o milho, a aplicação de $89,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrogênio para propiciar a mesma produtividade de milho do que quando a cultura antecessora foi a crotalária na ausência do nutriente em cobertura.

Figura 36- Produtividade em função de cobertura vegetal e dose de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. Selvíria – MS, Brasil (2010/11). Teste F: ** – significativo a 1% de probabilidade.



Embora a resposta positiva do milho ao aumento da dose de nitrogênio em cobertura não corrobore com os resultados de Souza et al. (2003), os quais não constataram resposta na produtividade de milho à aplicação de 0 a 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura, esta mostra-se coerente com diversos resultados de pesquisa, dentre eles, os obtidos por Lucena et al. (2000), Heinrichs et al. (2003), Shioga, Oliveira e Gerage (2004), Amaral Filho et al. (2005), Ohland et al. (2005), Silva et al. (2006a), Tomazela et al. (2006), Gomes et al. (2007), Lana et al. (2009), Santos et al. (2010c), Francisco et al. (2011a) e Kappes et al. (2011b). A resposta linear de produtividade à alteração da dose crescente de nitrogênio demonstra estar relacionada ao comprimento de espiga, fato que confirma o relato de Büll (1993), em que maiores produtividades de milho são atribuídas ao aumento do comprimento de espiga proporcionado pela aplicação de nitrogênio.

O fato de o tratamento sem adubação nitrogenada em cobertura ter resultado em menor teor de nitrogênio foliar no milho (Tabela 15), pode explicar, em parte, a resposta positiva da cultura, em termos de produtividade, à adição de doses desse nutriente após as três coberturas vegetais antecessoras em ambos os anos agrícolas. Além disso, este resultado está condizente com os relatos de Büll (1993), ao mencionar que folhas bem nutridas em nitrogênio têm maior capacidade de

assimilação de gás carbônico e de sintetização de carboidratos durante a fotossíntese, pois o nitrogênio é vital em todos os processos metabólicos da planta por ser constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos e integrantes da molécula de clorofila. Dessa forma, possivelmente, a aplicação de nitrogênio em cobertura favoreceu o incremento de produtividade de milho.

Do mesmo modo, essa constatação revela a possibilidade do milho em responder à aplicação de maiores doses em relação às utilizadas neste estudo. Obviamente que, maiores produtividades exigem quantidades adequadas de nitrogênio, pois conforme Coelho e França (1995), 75% do nitrogênio extraído pelo milho é exportado pelos grãos. Kappes et al. (2011b), por exemplo, constataram incremento linear na produtividade de milho até a aplicação de 150 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura. Ferreira et al. (2001), estudando o efeito da adubação nitrogenada sobre o milho, verificaram resposta quadrática da produtividade às alterações das doses de nitrogênio em cobertura (0, 70, 140 e 210 kg ha^{-1}), sendo a máxima produtividade conseguida com a aplicação de 200 kg ha^{-1} do nutriente. Ajuste quadrático das médias de produtividade de milho foi obtido, também, por Fernandes e Buzetti (2005), os quais relataram a máxima eficiência técnica com a dose de 142 kg ha^{-1} de nitrogênio. Tais resultados estão condizentes com as afirmações de Amado, Mielniczuk e Fernandes (2001), ao relatarem que em anos cujas condições são favoráveis à cultura do milho, a quantidade requerida para otimizar a produtividade pode alcançar valores superiores a 150 kg ha^{-1} de nitrogênio. Uma quantidade tão elevada, segundo esses pesquisadores, dificilmente será suprida somente pelo solo, havendo a necessidade de utilização de fontes suplementares de nitrogênio, como por exemplo, as fabáceas.

Embora o aumento da dose de nitrogênio, na maioria das vezes, proporcione decréscimo no aproveitamento do nutriente pelo milho, em vista do suprimento de nitrogênio exceder as necessidades da cultura (FERNANDES; BUZETTI, 2005; FERNANDES et al., 2005) e as possíveis perdas de nitrogênio, principalmente por lixiviação e volatilização (CANTARELLA; DUARTE, 2004; SILVA et al., 2006b), no presente estudo, esta afirmação não ficou tão evidente. Pode-se inferir, perante ausência do ponto de máxima e incremento linear de produtividade às alterações das doses crescentes de nitrogênio em cobertura, que a adubação nitrogenada foi eficiente, que pode estar relacionada às reduções de perdas do nutriente no sistema. Aumento na eficiência de absorção de nitrogênio pela cultura do milho com

o incremento da dose do nutriente foi relatada por Fernandes e Libardi (2007) ao estudarem a percentagem de recuperação do nutriente pelo milho, para diferentes doses e parcelamentos do fertilizante nitrogenado. Os referidos pesquisadores atribuíram tal resposta à diminuição de perdas de nitrogênio no sistema, como lixiviação, desnitrificação, volatilização ou pela alta eficiência de absorção dos próprios híbridos utilizados na pesquisa.

Desse modo, o solo argiloso da área experimental pode ter sido um dos fatores que contribuiu para a redução das perdas de nitrogênio, notadamente por lixiviação, enfatizando as atribuições realizadas por Fernandes e Libardi (2007). Finalmente, dentre outros fatores, deve ser mencionado que a variação de 6,0 a 6,4 nos valores de pH-H₂O do solo da área experimental, nos dois anos agrícolas (Tabelas 2 e 3), deve ter contribuído para a redução das perdas por lixiviação, pois segundo Freire, Vasconcellos e França (2001), a faixa de pH-H₂O ótima para nitrificação varia de 6,6 a 8,0 e, em geral, ela reduz progressivamente com a diminuição do pH, atingindo valores insignificantes em pH menor que 4,5. Contudo, Silva et al. (2006b), constataram que o aproveitamento relativo do nitrogênio do fertilizante decresceu com o incremento da dose do nutriente aplicada, nos três sistemas de cobertura do solo estudados (*Crotalaria juncea*, milho e vegetação espontânea). A variação no aproveitamento do nitrogênio proveniente de fertilizantes minerais pelo milho é decorrente de diversos fatores, principalmente das condições edafoclimáticas, do fertilizante utilizado, do manejo da adubação (dose, época e modo de aplicação) e do sistema de manejo do solo (sistema plantio direto ou manejo convencional) (LARA CABEZAS et al., 2004). As perdas de nitrogênio por lixiviação, volatilização, desnitrificação e erosão e a imobilização microbiana também têm influência no aproveitamento do nutriente proveniente de fontes minerais (LARA CABEZAS et al., 2004; FIGUEIREDO et al., 2005).

Outra menção relevante é de que, há tendência de correlação positiva entre teor de nitrogênio foliar, altura de planta e massa de mil grãos com a produtividade de milho, embora esta análise não tenha sido realizada. No estudo de Silva et al. (2005) tanto a altura de planta quanto o teor de nitrogênio na folha de milho correlacionaram-se positiva e significativamente com a produtividade, com valores de “r” de 0,87** e 0,71*, respectivamente. Da mesma forma, Gomes et al. (2007), verificaram correlação positiva e significativa da altura de planta e do teor de nitrogênio foliar com a produtividade de milho, com valores de “r” de 0,94** e 0,96**,

respectivamente. Dessa forma, a maior produtividade, favorecida pelo maior teor de nitrogênio foliar, baseada no presente estudo e nas constatações dos referidos pesquisadores, sugere a importância desse nutriente quando o objetivo principal é a maximização da produção de milho. Plantas maiores tendem a ser mais produtivas, supostamente porque sofrem menos estresse durante o seu desenvolvimento e acumulam maiores quantidades de reservas no colmo (SILVA et al., 2006a).

Embora tenha sido utilizado híbrido triplo, ou seja, material que geneticamente apresenta menor potencial produtivo quando comparado aos híbridos simples (PATERNIANI; CAMPOS, 2005) e maior se comparado aos híbridos duplos, as produtividades médias obtidas neste estudo foram consideradas satisfatórias. As produtividades foram condizentes às médias obtidas com o milho de primeira safra nos anos agrícolas 2009/10 e 2010/11 no Estado do Mato Grosso do Sul, as quais foram de 6.535 e 6.700 kg ha⁻¹, respectivamente (CONAB, 2011).

O fato de não ter ocorrido veranico no ambiente de produção nos dois anos agrícolas (Figuras 1 e 2), pode justificar as satisfatórias produtividades médias alcançadas, pois de acordo com Fornasieri Filho (2007), o período compreendido entre duas semanas antes e duas semanas após o florescimento, ou seja, entre os estádios V₁₅ e R₂, constitui-se na fase mais crítica do ciclo da cultura do milho à deficiência hídrica, resultando em acentuada redução na produtividade. Amado, Mielniczuk e Aita (2002) também verificaram que entre as muitas variáveis que condicionam a dinâmica do nitrogênio, o manejo do solo e a disponibilidade hídrica são fundamentais para altas produtividades de milho.

4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o alto custo dos fertilizantes nitrogenados e a necessidade de uma agricultura sustentável, a combinação entre adubação mineral e a utilização da crotalária pode ser ótima alternativa para o suprimento de nitrogênio ao milho, face à constatação de resultados positivos sobre a maioria das características agrônômicas mensuradas no presente trabalho. Algumas coberturas vegetais possuem a capacidade de aumentar a disponibilidade de nutrientes e, em especial, de

nitrogênio, para a cultura em sucessão, quer seja por meio do manejo da sua biomassa ou pela fixação biológica do nitrogênio atmosférico.

É possível que a elevada quantidade de massa seca produzida, com elevado acúmulo de nitrogênio e fósforo na crotalária e no consórcio milheto + crotalária, associada a menor relação C/N comparativamente ao milheto, resultaram em rápida disponibilização destes nutrientes ao solo e menor imobilização de nitrogênio mineral, conseqüentemente, tenham contribuído para a maior produtividade de milho. O contrário é válido quando a cultura antecessora foi o milheto. Portanto, é oportuno ressaltar a importância da relação C/N da cobertura vegetal durante a sua escolha.

Nas condições edafoclimáticas do Cerrado, a incorporação dos resíduos culturais com escarificador + “grade leve” e “grade pesada” + “grade leve” acelera a sua velocidade de decomposição e, conseqüentemente, aumenta os teores de nitrogênio no solo e o aproveitamento deste pela cultura do milho. Entretanto, estudos adicionais sobre o comportamento do nitrogênio do solo, sob diferentes manejos no Cerrado, precisam ser realizados.

A resposta linear crescente em função da adubação nitrogenada em cobertura, demonstrada pela maioria das características mensuradas, vem ressaltar o papel importante do nitrogênio no desempenho agrônômico das plantas e nos componentes de produção, ao mesmo tempo em que revela que as doses aplicadas em cobertura não foram suficientes para obtenção da máxima produtividade.

5. CONCLUSÕES

Considerando as condições edafoclimáticas de realização deste trabalho, pôde-se concluir que:

(i) o milho produz menor quantidade de massa seca em relação à crotalária, porém seus resíduos são mais persistentes na superfície do solo;

(ii) a aplicação de nitrogênio em cobertura proporciona incremento na massa seca, índice de clorofila foliar, teores de nitrogênio e fósforo foliar e na planta inteira, altura de planta e de inserção de espiga, diâmetro de colmo, comprimento e diâmetro de espiga, massa de mil grãos e produtividade de milho;

(iii) a utilização de crotalária e de milho + crotalária como antecessoras, associada à aplicação de 90 kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura do milho sob sistema plantio direto, proporciona maior produtividade da cultura.

REFERÊNCIAS

- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 157-165, 2001.
- ALMEIDA, M. L.; MEROTTO JÚNIOR, A.; SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 23-29, 2000.
- ALVA, A. K.; PARAMASIVAM, S.; FARES, A.; DELGADO, J. A.; MATTOS JÚNIOR, D.; SAJWAN, K. Nitrogen and irrigation management practices to improve nitrogen uptake efficiency and minimize leaching losses. **Journal of Crop Improvement**, Binghamton, v. 15, n. 2, p. 369-420, 2006.
- ALVARENGA, R. C.; LARA CABEZAS, W. A.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 47-54, 2000.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 241-248, 2002.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fonte de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 179-189, 2001.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 679-686, 1999.
- AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 467-473, 2005.
- ANDRADE, A. C.; FONSECA, D. M.; QUEIROZ, D. S.; SALGADO, L. T.; CECON, P. R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, p. 1643-1651, 2003. Número especial.

ANDRADE, F. H.; OTEGUI, M. E.; VEGA, C. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 1, p. 92-97, 2000.

ANDREOTTI, M.; ARALDI, M.; GUIMARÃES, V. F.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S. Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um Latossolo em sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após calagem superficial. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 109-115, 2008.

ARF, O.; FERNANDES, R. N.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E.; ANDRADE, J. A. C. Manejo do solo e época de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e rendimento do milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 2, p. 211-217, 2007.

ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, L. C.; STRIEDER, M. L.; FORSTHOFER, E. L.; SUHRE, E. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 4, n. 1/2, p. 27-34, 2003a.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; STRIEDER, M. L.; FORSTHOFER, E. L. Monitoramento do nível de nitrogênio na planta de milho através do teor de clorofila avaliado pelo clorofilômetro. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia. **Resumos...** Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/UFU, 2000. p.128.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L.; SUHRE, E.; TEICHMANN, L. L. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 109-119, 2003b.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, p. 1075-1084, 2001.

ASSIS, E. P. M.; CORDEIRO, M. A. S.; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C. Efeito da aplicação de nitrogênio na atividade microbiana e na decomposição da palhada de sorgo em solo de Cerrado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 33, n. 2, p. 107-112, 2003.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237 p.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. **Recomendações técnicas para o uso da adubação verde em solos de tabuleiros costeiros**. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. 7 p. (Circular Técnica, 19).

BELARMINO, M. C. J.; PINTO, J. C.; ROCHA, G. P.; FURTINI NETO, A. E.; MORAIS, A. R. Altura de perfilho e rendimento de matéria seca de capim-tanzânia

em função de diferentes doses de superfosfato simples e sulfato de amônio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 4, p. 879-885, 2003.

BELOW, F. E. **Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho**. Piracicaba: POTAFÓS, 2002. p. 7-12. (Informações Agronômicas, 99).

BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A. O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 7, p. 949-956, 2001.

BERTIN, E. G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Plantas de cobertura em pré-safra ao milho em plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 379-386, 2005.

BERTOL, I.; CIPRANDI, O.; KURTZ, C.; BAPTISTA, A. S. Persistência de resíduos culturais de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 705-712, 1998.

BORGHI, E.; MOBRICCI, C.; PULZ, A. L.; ONO, E. O.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento de *Brachiaria brizantha* em cultivo consorciado com milho em sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 91-98, 2007.

BORRÁS, L.; OTEGUI, M. E. Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 6, p. 1816-1822, 2001.

BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum com cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 897-903, 2000.

BORTOLUZZI, E. C.; ELTZ, F. L. Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 449-457, 2000.

BRACHTVOGEL, E. L.; PEREIRA, F. R. S.; CRUZ, S. C. S.; BICUDO, S. J. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 8, p. 2334-2339, 2009.

BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M.; KLIEMANN, H. J.; ZIMMERMANN, F. J. P. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, n. 2, p. 83-87, 2004.

BRUNS, H. A.; ABBAS, H. K. Ultra-high plant populations and nitrogen fertility effects on corn in the Mississippi valley. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 4, p. 1136-1140, 2005.

BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. p. 63-145.

CALEGARI, A. Alternativas de culturas para rotação em plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 80, p. 62-70, 2004.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 99-108, 2005.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. p. 147-196.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A. P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Ed.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa: UFV, 2004. p. 139-182.

CARVALHO, C. G. P.; ARIAS, C. A. A.; TOLEDO, J. F. F.; ALMEIDA, L. A.; KIIHL, R. A. S.; OLIVEIRA, M. F.; HIROMOTO, D. M.; TAKEDA, C. Proposta de classificação dos coeficientes de variação em relação à produtividade e altura da planta de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 187-193, 2003.

CARVALHO, I. Q. **Espaçamento entre fileiras e população de plantas em milho**. 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2007.

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. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 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. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, n. 2, p. 108-120, 2011.

CASAGRANDE, J. R. R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 33-40, 2002.

CAVALLET, L. E.; PESSOA, A. C. S.; HELMICH, J. J.; HELMICH, P. R.; OST, C. F. Produtividade do milho em resposta à aplicação de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum* spp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 129-132, 2000.

CENTURION, J. F. Balanço hídrico da região de Ilha Solteira. **Científica**, Jaboticabal, v. 10, n. 1, p. 57-61, 1982.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; DEIKOW, J.; AITA, C.; PAVINATO, P. S.; VIEIRA, F. C. B.; VENDRUSCULO, E. R. O. Nitrogen fertilizer split-application for corn in no-till succession to black oats. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 549-554, 2002.

CHRISÓSTOMO, I. G.; LANNA, A. C.; GODOY, S. G.; ROSA, J. R.; DIDONET, A. D. N total e C orgânico do solo em transição para a produção orgânica de arroz de terras altas (*Oryza sativa* L.) no Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 2.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 8., 2006. Brasília. **Anais...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1CD-ROM.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação**. 2. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1995. 9 p. (Arquivo do Agrônomo, 2).

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C.; HERNANI, L. C. **Fertilidade de solos: nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010 (Sistema de Produção, 1).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, nono levantamento, junho/2011**. Brasília: Conab, 2011. 47 p.

CORTEZ, J. W.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. Sistemas de adubação e consórcio de culturas intercalares e seus efeitos nas variáveis de colheita da cultura do milho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 277-287, 2009.

COSTA, A. C. S.; FERREIRA, J. C.; SEIDEL, E. P.; TORMENA, C. A.; PINTRO, J. C. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia em três solos argilosos tratados com uréia. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 467-473, 2004.

COSTA, A. M. **Adubação nitrogenada na cultura do milho (*Zea mays* L.) em sistema de plantio direto**. 2000. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2000.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; SANTANA, D. P. Manejo da cultura do milho. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008a. p. 171-197.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; SILVA, G. H. **Milho**: cultivares para 2011/2012. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S.; SANTOS, J. R.; ALBUQUERQUE, A. W.; PEREIRA, R. G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 62-68, 2008b.

DEKALB. **Seleção de híbridos de milho**: características agronômicas. São Paulo: Dekalb, 2011. Disponível em: <<http://www.dekalb.com.br/milho.aspx>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

DEMÉTRIO, C. S. **Desempenho agrônômico de híbridos de milho em diferentes arranjos populacionais em Jaboticabal – SP**. 2008. 53 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008.

DEPARIS, G. A.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F. Espaçamento e adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 4, p. 517-525, 2007.

DEUNER, S.; NASCIMENTO, R.; FERREIRA, L. S.; ADINELLI, P. G.; KERBER, R. S. Adubação foliar e via solo de nitrogênio em plantas de milho em fase inicial de desenvolvimento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1359-1365, 2008.

DIDONET, A. D.; RODRIGUES, O.; MARIO, J. L.; IDE, F. Efeito da radiação solar e temperatura na definição do número de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 933-938, 2002.

DOURADO NETO, D.; PALHARES, M.; VIEIRA, P. A.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P.; ROMANO, M. R. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 3, p. 63-77, 2003.

DUARTE, A. P. Milho safrinha: características e sistemas de produção. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G.V. (Ed.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa: UFV, 2004. p. 109-138.

DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J. **Cultivo do milho**: economia da produção. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Sistemas de Produção, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA . Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

ESCOSTEGUY, P. A. V.; RIZZARDI, M. A.; ARGENTA, G. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 71-77, 1996.

FALKER. **Manual do medidor eletrônico de teor de clorofila (ClorofiLOG / CFL 1030)**. Porto Alegre: Falker Automação Agrícola, 2008. 33 p.

FANCELLI, A. L. Ecofisiologia de plantas de lavouras. In: CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; ROSA, G. M.; CERETTA, C. A. (Org.). **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Pelotas: UFPE, 2001. p. 59-71.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia de produção e manejo de água e nutrientes na cultura do milho de alta produtividade**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1996. 129 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360 p.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; BORDIN, L.; COICEV, L.; FORNASIERI FILHO, D. Desempenho agrônomico de cultivares de milho nos períodos de safra e safrinha. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 2, p. 235-241, 2003.

FERNANDES, F. C. S.; BUZETTI, S. Efeito de níveis de nitrogênio na produtividade de seis cultivares de milho (*Zea mays* L.). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, n. 7, p. 1-7, 2005.

FERNANDES, F. C. S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 2, p. 195-204, 2005.

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L. Percentagem de recuperação de nitrogênio pelo milho, para diferentes doses e parcelamentos do fertilizante nitrogenado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 6, n. 3, p. 285-296, 2007.

FERREIRA, A. C. B.; ARAÚJO, G. A. A.; PEREIRA, P. R. G.; CARDOSO, A. A. Características agrônomicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 131-138, 2001.

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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 279-287, 2005.

FLOSS, E. L. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 57, p. 25-29, 2000.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**. 4. ed. Passo Fundo: UPF, 2008. 749 p.

FOLONI, J. S. S.; GARCIA, R. A.; TIRITAN, C. S.; SILVA, A. S. J. Adubação nitrogenada e qualidade dos restos vegetais de milho e aveia preta. **Agrarian**, Dourados, v. 1, n. 2, p. 45-57, 2008.

FORMENTINI, E. A.; LÓSS, F. R.; BAYERL, M. P.; LOVATI, R. D.; BAPTISTI, E. **Cartilha sobre adubação verde e compostagem**. Vitória: Incaper, 2008. 27 p.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 2007. 576 p.

FRANCISCO, E. A. B.; KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; FUJIMOTO, G. R. Manejo da adubação nitrogenada no milho safrinha em sucessão à soja e milho. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 11., 2011, Lucas do Rio Verde. **Anais...** Lucas do Rio Verde: Fundação Rio Verde, 2011a. p. 341-351.

FRANCISCO, E. A. B.; ZANCANARO, L.; HILLESHEIM, J.; KOCH, C. V. Produtividade e eficiência de uso do nitrogênio pelo milho na região Sul de Mato Grosso. **Informe Técnico Fundação MT**, Rondonópolis, n. 1, p. 1-3, 2011b.

FREIRE, F. M.; VASCONCELLOS, C. A.; FRANÇA, G. E. Manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 49-62, 2001.

FREITAS, G. B.; PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; BARELLA, T. P.; DINIZ, E. R. **Trabalhador na olericultura básica: adubação verde**. Brasília: SENAR, 2003. 91 p. (Coleção SENAR, 71).

GABRIEL FILHO, A.; PESSOA, A. C. S.; STROHHAecker, L.; HELMICH, J. J. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 953-957, 2000.

GADANHA JUNIOR, C. D.; MOLIN, J. P.; COELHO, J. L. D.; YAHN, C. H.; TOMIMORI, S. M. A. W. **Máquinas e implementos agrícolas do Brasil**. São Paulo: Núcleo Setorial de Informações em Máquinas Agrícola, Fundação de Ciências e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. 470 p.

GALLO, D.; NAKANO, O.; NETO, S. S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J.

D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

GALON, L.; TIRONI, S. P.; ROCHA, A. A.; SOARES, E. R.; CONCENÇO, G.; ALBERTO, C. M. Influência dos fatores abióticos na produtividade da cultura do milho. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 4, n. 3, p. 18-38, 2010.

GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J.; DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C.; PADRÃO, G. A. Aspectos econômicos da produção e utilização de milho. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 21-46.

GOMES, R. F.; SILVA, A. G.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R. Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 931-938, 2007.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 153-159, 2000.

GROSS, M. R.; VON PINHO, R. G.; BRITO, A. H. Adubação nitrogenada, densidade de semeadura e espaçamento entre fileiras na cultura do milho em sistema plantio direto. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 387-393, 2006.

GUIMARÃES, G.L.; BUZETTI, S.; SILVA, E.C.; LAZARINI, E.; SÁ, M.E. Culturas de inverno e pousio na sucessão da cultura da soja em plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.25, n.2, p.339-344, 2003.

HARRIS, G. H.; HESTERMAN, O. B. Quantifying the nitrogen contribution from alfalfa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, n. 1, p. 129-134, 1990.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 7th ed. New Jersey: Person Prentice Hall, 2005. 515 p.

HAWKINS, J. A.; SAWYER, J. E.; BARKER, D. W.; LUNDEVALL, J. P. Using relative chlorophyll meter values to determine nitrogen application rates for corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 4, p. 1034-1040, 2007.

HEINRICHS, R.; AITA, C.; AMADO, T. J. C.; FANCELLI, A. L. Cultivo consorciado de aveia preta e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 331-340, 2001.

HEINRICHS, R.; OTOBONI, J. L. M.; GAMBA JÚNIOR, A.; CRUZ, M. C.; SILVA, C. Doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, n. 4, p. 1-5, 2003.

HODGEN, P. J.; FERGUSON, R. B.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J.S. Uptake of point source depleted ¹⁵N fertilizer by neighboring corn plants. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, n. 1, p. 99-105, 2009.

HOEFT, R. G. **Desafios para a obtenção de altas produtividades de milho e de soja nos EUA**. Piracicaba: POTAFÓS, 2003. p. 1-4. (Informações Agronômicas, 104).

HURTADO, S. M. C.; RESENDE, A. V.; SILVA, C. A.; CORAZZA, E. J.; SHIRATSUCHI, L. S. Clorofilômetro no ajuste da adubação nitrogenada em cobertura para o milho de alta produtividade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 6, p. 1011-1017, 2011.

JUDICE, M. G. **Avaliação de coeficiente de variação em experimentos zootécnicos**. 2000. 40 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

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**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 677-686, 2010.

KAPPES, C. **Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas**. 2010. 127 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2010.

KAPPES, C. Utilizações e benefícios da crotalária na agricultura. **Revista Panorama Rural**, Ribeirão Preto, n. 147, p. 16-17, 2011.

KAPPES, C.; ANDRADE, J. A. C.; ARF, O.; OLIVEIRA, A. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p. 334-343, 2011a.

KAPPES, C.; ARF, O.; ARF, M. V.; DAL BEM, E. A.; VILELA, R. G.; PORTUGAL, J. R.; GONZAGA, A. R. Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho sob sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: SBCS, 2011b. 1CD-ROM.

KARLEN, D. L.; FLANNERY, R. L.; SADLER, E. J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, n. 2, p. 232-242, 1988.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B.; SILVEIRA, P. M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo vermelho distroférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Implantação, condução e resultados obtidos com o Sistema Santa Fé. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 409-441.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 97-104, 2000.

KUNZ, R. P. **Influência do arranjo de plantas e da população em características agrônômicas e produtividade do milho**. 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2005.

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 Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 433-438, 2009.

LANDAU, E. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Cultivo do milheto: clima**. 2. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Sistema de Produção, 3).

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P. **Cultivo do milho: clima e solo**. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Sistema de Produção, 1).

LANGE, A. **Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho após cultivo da soja em sistema semeadura direta no Cerrado**. 2006. 135 f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

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. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1005-1013, 2004.

LARA CABEZAS, W. A. R.; YAMADA, T. **Uréia aplicada na superfície do solo: um péssimo negócio!** Piracicaba: POTAFÓS, 1999. p. 9-10. (Informações Agrônômicas, 86).

LIANG, B. C.; REMILLARD, M.; MACKENZIE, A. F. Effects of hybrids, population densities, fertilization and irrigation on grain corn (*Zea mays* L.) in Quebec. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v. 72, n. 4, p. 1163-1170, 1992.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 2004. 110 p.

LOURENTE, E. R. P.; ONTOCELLI, R.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E.; RODRIGUES, E. T. Culturas antecessoras, doses e fontes de nitrogênio nos componentes de produção do milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 55-61, 2007.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 175-187, 2004.

LOZADA, B. I.; ANGELOCCI, L. R. Efeito da temperatura do ar e da disponibilidade hídrica do solo na duração de subperíodos e na produtividade de um híbrido de milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 37-43, 1999.

LUCENA, L. F. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F.; ANDRADE, A. P. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 334-337, 2000.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I.; ARRUDA, H. V.; SILVA, W. J.; TEIXEIRA, J. P. F. Análise quantitativa do crescimento de quatro variedades de milho em três densidades de plantio, através de funções matemáticas ajustadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 6, p. 825-833, 1982.

MADDONNI, G. A.; OTEGUI, M. E.; CIRILO, A. G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 71, n. 3, p. 183-193, 2001.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Cultivo do milheto**: ecofisiologia. 2. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Sistema de Produção, 3).

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas**: amostragem, interpretação e sugestões de adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.

MAR, G. D.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; NOVELINO, J. O. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 2, p. 267-274, 2003.

MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; DUARTE, J. B.; GUIMARÃES, C. M.; GOMES, J. A. Densidade de plantas e características agrônômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 93-101, 2005.

MARQUES, R. R.; DELAVALLE, F. G.; LAZARINI, E.; BUZETTI, S.; ARATANI, R. G. Quantidades de nutrientes restituídos ao solo através de plantas de cobertura e resíduos das culturas de soja e milho, em função da presença ou ausência de calcário na implantação do sistema de plantio direto. In: FERTBIO, 25., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS/UFRRJ, 2002. 1CD-ROM.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MATTOSO, M. J.; GARCIA, J. C.; DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C. Aspectos de produção e mercado do milho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 233, p. 95-104, 2006.

MEIRA, F. A.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E.; ANDRADE, J.A. C. Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 275-284, 2009.

MEROTTO JÚNIOR, A.; ALMEIDA, M. L.; FUCHS, O. Aumento no rendimento de grãos de milho através do aumento da população de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 549-554, 1997.

MIRANDA, G. V.; COIMBRA, R. R.; GODOY, C. L.; SOUZA, L. V.; GUIMARÃES, L. J. M.; MELO, A. V. Potencial de melhoramento e divergência genética de cultivares de milho-pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 681-688, 2003.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MUNDSTOCK, C. M.; SILVA, P. R. F. **Manejo da cultura do milho para altos rendimentos de grãos**. Porto Alegre: UFRS; Evangraf, 2005. 51 p.

NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J.; RABELO, R. R.; OLIVEIRA, P.; COBUCCI, T.; CRUSCIOL, C. A. C. Desenvolvimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas em função do manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 186-192, 2011.

NEUMANN, M.; SANDINI, I. E.; LUSTOSA, S. B. C.; OST, P. R.; ROMANO, M. A.; FALBO, M. K.; PANSERA, E. R. Rendimentos e componentes de produção da planta de milho (*Zea mays* L.) para silagem, em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 3, p. 418-427, 2005.

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. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 538-544, 2005.

OLIVEIRA, E. F. Eficiência do modo de aplicação do sulfato de amônio e uréia nas culturas de milho e algodão. In: ORGANIZAÇÃO DAS COOPERATIVAS DO ESTADO DO PARANÁ. **Resultados de pesquisa 1/95**. Cascavel: 1995. p. 40-46.

OLIVEIRA, S. A. Análise foliar. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 245-256.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1079-1087, 2002.

PAES, M. C. D. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 47-61.

PALHARES, M. **Distribuição e população de plantas e produtividade de grãos de milho**. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do milho. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005. p. 491-552.

PELÁ, A. **Uso de plantas de cobertura em pré-safra e seus efeitos nas propriedades físicas do solo e na cultura do milho em plantio direto na região de Jaboticabal – SP**. 2002. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2002.

PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; COICEV, L.; BORDIN, L.; FARINELLI, R. Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais, na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 2, p. 52-60, 2003.

PEREIRA, A. J.; GUERRA, J. G. M.; MOREIRA, V. F.; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S.; POLIDORO, J. C.; ESPINDOLA, J. A. A. **Desempenho agrônômico de *Crotalaria juncea* em diferentes arranjos populacionais e épocas do ano**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 4 p. (Comunicado Técnico, 82).

PERIN, A.; BERNARDO, J. T.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, G. B. Desempenho agrônômico de milho consorciado com feijão-de-porco em duas épocas de cultivo no

sistema orgânico de produção. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 903-908, 2007.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 35-40, 2004.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; GUSMÃO, L. A. Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalária e milho solteiros e consorciados. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 2, p. 274-281, 2010.

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H.; TOTH, J. D.; MACNEAL, K. E. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate N sufficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 1, p. 403-408, 1995.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000. 477 p.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

POSSAMAI, J. M.; SOUZA, C. M.; GALVÃO, J. C. C. Sistemas de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 2, p. 79-82, 2001.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RAJCAN, I.; TOLLENAAR, M. Source: sink ratio and leaf senescence in maize: I. Dry matter accumulation and partitioning during grain filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 60, n. 2, p. 245-253, 1999.

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L. Parâmetros de planta para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1637-1645, 2004.

RAMOS, M. G.; VILLATORO, M. A. A.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using ¹⁵N-isotope techniques. **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v. 91, n. 2-3, p. 105-115, 2001.

REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C.; FRIZZONE, J. A. Função de produção da cultura do milho e do feijão para diferentes lâminas e uniformidade de aplicação de água. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 503-511, 2004.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Piracicaba: POTAFÓS, 2003. 20 p. (Informações Agronômicas, 103).

RIZZARDI, M. A.; PIRES, J. L. Resposta de cultivares de milho à distribuição de plantas na linha, com e sem controle de plantas daninhas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 13-17, 1996.

RODRIGUES, J. A. S.; PEREIRA FILHO, I. A. **Cultivo do milho: cultivares**. 2. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Sistema de Produção, 3).

ROSOLEM, C. A. **Relações solo-planta na cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 53 p.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Leaching of nitrate and ammonium from cover crop straws as affected by rainfall. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 36, n. 7-8, p. 819-831, 2005.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 301-309, 2003.

RUGET, F. Contribution of storage reserves during grain filling of maize in northern European conditions. **Maydica**, Bergamo, v. 38, n. 1, p. 51-59, 1993.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; FELLER, C. Palha: a base de sustentação do plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 80, p. 29-32, 2003.

SALTON, J. C.; KICHEL, A. N. Milheto: uma alternativa para cobertura do solo e alimentação animal. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 45, p. 41-43, 1998.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; GRACIETTI, M. A.; BIANCHET, P. Sustentabilidade do colmo em híbridos de milho de diferentes épocas de cultivo em função da densidade de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 1, n. 2, p. 60-66, 2002.

SANGOI, L.; ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; MINETTO, T. J.; BISOTTO, V. Níveis de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes: análise técnico-econômica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1021-1029, 2003.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; BIANCHET, P. Desenvolvimento inicial do milho em função de doses e fontes de nitrogênio aplicadas na semeadura. **Biotemas**, Florianópolis, v. 22, n. 4, p. 53-58, 2009.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; SILVA, A. A.; ERNANI, P. R.; HORN, D.; STRIEDER, M. L.; SCHMITT, A.; SCHWEITZER, C. Desempenho agrônomo de cultivares de

milho em quatro sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 2, p. 218-231, 2006.

SANTOS, F. C.; COELHO, A. M.; RESENDE, A. V.; ASSIS, R. L. **Cultivo do milho: fertilidade de solos**. 2. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010a. (Sistema de Produção, 3).

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; KOCHHANN, R. A. Rendimento de grãos de milho em função de diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 3, p. 251-256, 2003.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1185-1194, 2010b.

SANTOS, P. A.; SILVA, A. F.; CARVALHO, M. A. C.; CAIONE, G. Adubos verdes e adubação nitrogenada em cobertura no cultivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, n. 2, p. 123-134, 2010c.

SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 138, n. 1-3, p. 335-356, 2000.

SCHREIBER, H. A.; STANBERRY, C. O.; TUCKER, H. Irrigation and nitrogen effects on sweet corn row numbers at various growth stages. **Science**, Washington, v. 135, n. 1, p. 135-136, 1988.

SCIVITTARO, W. B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P. C. O. Utilização de nitrogênio de adubos verde e mineral pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 917-926, 2000.

SHIOGA, P. S.; OLIVEIRA, E. L.; GERAGE, A. C. Densidade de plantas e adubação nitrogenada em milho cultivado na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 3, p. 381-390, 2004.

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. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 1, p. 75-88, 2006a.

SILVA, E. C. **Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (^{15}N) da uréia, do milho e da crotalária pelo milho sob semeadura direta em solo de Cerrado**. 2005. 111 f. Tese (Doutorado em Ciências – Centro de Energia Nuclear na Agricultura) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA, E. C.; FERREIRA, S. M.; SILVA, G. P.; ASSIS, R. L.; GUIMARÃES, G. L. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 725-733, 2005.

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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 477-486, 2006b.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; ESPINAL, F. S. C.; TRIVELIN, P. C. O.; BUZETTI, S. Utilização do nitrogênio da palha de milho e de adubos verdes pela cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2853-2861, 2008. Número especial.

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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 118-127, 2009a.

SILVA, M. A. G.; PORTO, S. M. A.; MANNIGEL, A. R.; MUNIZ, A. S.; MATA, J. D. V.; NUMOTO, A. Y. Manejo da adubação nitrogenada e influência no crescimento da aveia preta e na produtividade do milho em plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 275-281, 2009b.

SILVA, P. S. L.; OLIVEIRA, F. H. T.; SILVA, P. I. B. Efeitos da aplicação de doses de nitrogênio e densidades de plantio sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 452-455, 2003.

SOARES, M. A. **Influência de nitrogênio, zinco e boro e de suas respectivas interações no desempenho da cultura de milho (*Zea mays* L.)**. 2003. 92 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SOARES, M. A.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P. A. Nitrogênio, zinco e boro e suas respectivas interações no desempenho da cultura de milho. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 76, p. 22-27, 2003.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SOUSA 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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 2, p. 255-269, 2008.

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P. Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 3, p. 395-405, 2006.

SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; SOBRINHO, T. A.; FEDATTO, E.; ZANON, G. D.; HASEGAWA, E. K. B. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na produtividade de milho em plantio direto irrigado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 3, p. 55-62, 2003.

SOUZA, P. M.; BRAGA, M. J. Aspectos econômicos da produção e comercialização de milho no Brasil. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Ed.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa: UFV, 2004. p. 13-54.

SPEEDING, C. R. W.; LARGE, R. V. A point-quadrat method for the description of pasture in terms of height and density. **Journal of the British Grassland Society**, Aberystwith, v. 12, n. 4, p. 229-234, 1957.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE – SAS. **SAS/STAT user's guide: version 6. 4. ed.** Cary: Statistical Analysis System Institute, 1994.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 879-890, 2006.

SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 121-127, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; ANDRADE, M. J. B.; SILVA, C. A.; PEREIRA, J. M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milheto e milheto + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 647-653, 2009.

TOMAZELA, A. L.; FAVARIN, J. L.; FANCELLI, A. L.; MARTIN, T. N.; DOURADO NETO, D.; REIS, A. R. Doses de nitrogênio e fontes de Cu e Mn suplementar sobre a severidade da ferrugem e atributos morfológicos do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 2, p. 192-201, 2006.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONCALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

ULGER, A. C.; BECKER, A. C.; KHANT, G. Response of maize inbred lines and hybrids to increasing rates of nitrogen fertilizer. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 159, n. 3, p. 157-163, 1995.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **View interactive global map of corn production and trade**. Washington: USDA, 2011. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/grain/circular/2009/10-09/graintoc.asp>>. Acesso em: 15 out. 2011.

VEIGA, M.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Tillage systems and nutrient sources affecting soil cover, temperature and moisture in a clayey Oxisol under corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2011-2020, 2010.

VELOSO, M. E. C.; DUARTE, S. N.; DOURADO NETO, D.; SILVA, E. C.; PEREIRA, C. R. Teor de nitrogênio, índices de área foliar e de colheita, no milho, em função da adubação nitrogenada, em solo de várzea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 8, n. 1, p. 13-25, 2009.

VIANA, J. H. M.; CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. Manejo do solo para a cultura do milho. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 99-129.

VIEIRA, M. A.; CAMARGO, M. K.; DAROS, E.; ZAGONEL, J.; KOEHLER, H. S. Cultivares de milho e população de plantas que afetam a produtividade de espigas verdes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 81-86, 2010.

WANG, G.; KANG, M. S.; MORENO, O. Genetic analyses of grain-filling rate and duration in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 61, n. 3, p. 211-222, 1999.

WUTKE, E. B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: WUTKE, E. B.; BULISANE, E. A.; MASCARENHAS, H. A. A. (Coord.). **Curso sobre adubação verde no Instituto Agronômico**. Campinas: Instituto Agronômico, 1993. p. 17-29. (Documentos IAC, 35).

YAMADA, T. **Adubação nitrogenada do milho: quanto, como e quando aplicar?** Piracicaba: POTAFÓS, 1996. p. 1-5. (Informações Agronômicas, 74).

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Como melhorar a eficiência da adubação nitrogenada do milho?** Piracicaba: POTAFÓS, 2000. p. 1-5. (Informações Agronômicas, 91).

**APÊNDICE –
FOTOS DOS EXPERIMENTOS**

Figura 37- Localização geográfica da área experimental. Selvíria – MS, Brasil (2009/10).



Figura 38- Semeadura das coberturas vegetais com semeadora específica para o sistema plantio direto (esquerda) e sistema de irrigação por aspersão do tipo “canhão” hidráulico auto-propelido (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).



Figura 39- Cultura do milho (esquerda) e da crotalária (direita), aos 15 dias após a emergência. Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).



Figura 40- Consórcio de milho + crotalária aos 15 dias após a emergência (esquerda) e vista geral das coberturas vegetais aos 44 dias após a semeadura (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).



Figura 41- Dessecação das coberturas vegetais com pulverizador tratorizado de barras (esquerda) e o seu manejo com desintegrador mecânico horizontal (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).



Figura 42- Aplicação do calcário com distribuidor a lanço em área total (esquerda) e manejo do solo com implemento escarificador (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).



Figura 43- Manejo do solo com “grade pesada” 14 x 32” (esquerda) e com “grade leve” 32 x 20” (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).



Figura 44- Sistema plantio direto com excelente cobertura do solo (esquerda) e vista geral da área experimental após a realização do manejo do solo (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).



Figura 45- Avaliações de produção de massa seca de parte aérea das coberturas vegetais (esquerda) e de persistência dos resíduos vegetais no sistema plantio direto (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).



Figura 46- Semeadura do milho com semeadora específica para o sistema plantio direto (esquerda) e emergência de plântulas (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).



Figura 47- Detalhe da adubação nitrogenada (esquerda) e plantas de milho apresentando a quinta folha expandida, momento da aplicação do nitrogênio em cobertura (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).



Figura 48- Vista geral da cultura do milho aos 11 dias após a emergência (esquerda) e aos 53 dias após a emergência (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).



Figura 49- Plantas de milho em florescimento pleno (esquerda) e espigas protegidas com sacos de papel do ataque de pássaros (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).



Figura 50- Fragmentação das plantas de milho em desintegrador forrageiro (esquerda) e secagem do material em estufa com renovação e circulação forçada de ar (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).



Figura 51- Estimativa do teor de clorofila foliar em plantas de milho com a utilização de clorofilômetro portátil modelo CFL 1030 (esquerda) e coleta do terço central do limbo de folha situada opostamente e abaixo da espiga principal (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).



Figura 52- Determinações de altura de inserção de espiga com auxílio de régua graduada (esquerda) e de diâmetro de colmo com paquímetro digital modelo CD-6" CSX-B (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).



Figura 53- Colheita do milho (esquerda) e trilha mecânica das espigas (direita). Selvíria – MS, Brasil (2009/10 e 2010/11).

